

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko

Andrzej Rysak

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

tel. 81 538 42 76

e-mail: a.rysak@pollub.pl

2. Posiadane stopnie naukowe

- Magister, specjalność: fizyka doświadczalna. Tytuł pracy magisterskiej: „Badanie nadprzewodników wysokotemperaturowych metodą elektronowego rezonansu paramagnetycznego”, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Matematyki i Fizyki, 1990.
- Doktor nauk fizycznych. Tytuł rozprawy: „Dynamika wirów w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych”, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Instytut Fizyki, 2002.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2013 - do chwili obecnej: Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, starszy wykładowca
- 2010 - 2013: własna działalność gospodarcza pod nazwą „Adretis”, projektowanie i budowa infrastruktury światłowodowej i sieci komputerowych
- 2002 - 2010: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, LubMAN UMCS, specjalista ds. projektowania infrastruktury światłowodowej
- 1994 - 2002: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, asystent
- 1992 - 1993: I Liceum ogólnokształcące im. Jana Zamoyskiego w Zamościu, nauczyciel

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające 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.), stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, wskazuję wyniki badań opublikowane w cyklu publikacji dotyczących zagadnienia pt.: **„Badanie dynamiki struktur gazu w przepływach dwufazowych przy zastosowaniu wybranych metod numerycznych”**.

4.a Lista prac A

- A1 G. Górski, G. Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Self-aggregation phenomenon and stable flow conditions in a two-phase flow through a minichannel*”, *Zeitschrift für Naturforschung A* **70** (10), 843-849 (2015), IF=0,886 (JCR 2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 40%
- A2 G Górski, G. Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Two phase flow bifurcation due to turbulence: Transition from slugs to bubbles*”, *European Physical Journal B* **88**, 239 (2015), IF=1,223 (JCR 2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 40%
- A3 G. Górski, G. Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Dynamics of two-phase flow through a minichannel: Fourier and multiscale entropy analyses*”, *Applied Mechanics and Materials* **791**, 217-223 (2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 40%
- A4 **A. Rysak**, G Litak, R Mosdorf, G Górski, „*Investigation of two-phase flow patterns by analysis of Eulerian space-time correlations*”, *International Journal of Multiphase Flow*, **85**, 23-37 (2016), IF=2,250 (JCR 2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 60%
- A5 G Górski, G Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, K. Urbanowicz, „*Dynamics and noise level estimation in two-phase flow through a minichannel*”, *Applied Mechanics and Materials* **844**, 115-121 (2016)
Mój udział w tej publikacji wynosi 35%

- A6 G. Górski, G. Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Dynamics of a two-phase flow through a minichannel: Transition from churn to slug flow*”, *European Physical Journal Plus* **131:111**, 1-5 (2016), IF=1,521 (JCR 2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 40%
- A7 **A. Rysak**, G. Litak, R. Mosdorf, „*Analysis of non-stationary signals by recurrence dissimilarity*”, *Recurrence Plots and Their Quantifications: Expanding Horizons*, Editors: Ch.L. Webber, Jr., C. Ioana, N. Marwan, Springer 2016, v. 180, 65-90
Mój udział w tej publikacji wynosi 70%
- A8 G. Litak, G. Górski, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Study of dynamics of two-phase flow through a minichannel by means of recurrences*”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, doi: 10.1016/j.ymsp.2016.08.037, IF=2,771 (JCR 2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 15%
- A9 G. Górski, G. Litak, R. Mosdorf, **A. Rysak**, „*Two-phase flow patterns identification based on recurrence statistics*”, *Proc. of DSTA 2015, Łódź, "Dynamical Systems, Mathematical and Numerical Approaches"*, Editors: Jan Awrejcewicz, Marek Kaźmierczak, Jerzy Mrozowski, Paweł Olejnik, 235-244, (2015)
Mój udział w tej publikacji wynosi 30%

4.b Omówienie celu naukowego i wyników osiągniętych w cyklu przedstawionych publikacji

Wstęp

W ogólności przepływem dwufazowym nazywamy przepływ mieszaniny dwóch różnych substancji różniących się budową chemiczną i/lub znajdujących się w różnych stanach skupienia. Wszystkie publikacje cyklu A zawierają wyniki badań przepływów mieszaniny wody i powietrza.

Przepływy dwufazowe odgrywają znaczącą rolę w wielu dziedzinach techniki, w których mamy do czynienia z przepływem cieczy lub mieszaniny dwóch faz. Mogą występować w systemach przepływu cieczy jako efekt zamierzony i sterowany lub też jako efekt uboczny działania różnych czynników zaburzających, takich jak: skoki ciśnienia, zmiany przekroju przepływu, defekty powierzchni kanałów, elementy i urządzenia blokujące przepływ, wysokie temperatury, oddziaływanie fal ultradźwiękowych i inne. Występują w różnych instalacjach. Począwszy od systemów wodociągowych, przez systemy transportu ciepła (heat pipes), układy klimatyzacji, jak też różnorodne układy chłodzenia: urządzeń elektronicznych, silników, maszyn, linii

produkcyjnych, po chłodzenie rdzeni w elektrowniach jądrowych.

Kształt struktur gazu, ich układ i tempo zmian rozkładu, szybkość przepływu oraz stabilność charakterystycznych cech płynącego układu dwufazowego wywierają wpływ zarówno na szkodliwe efekty powodowane przez niepożądane domieszki fazy gazowej, jak również na efektywność i skuteczność działania kontrolowanych przepływów dwufazowych.

Głównym tematem moich badań była analiza dynamiki struktur gazu w przepływach dwufazowych, zachodzących w kanałach okrągłych o różnych średnicach wewnętrznych i kątach nachylenia. Zasadniczym celem badań była identyfikacja szczególnych cechy przepływu, takich jak stabilność (niezmiennosc dynamiki), poziom szumu, regularność, determinizm czy intermitencja.

Dynamiką przepływu dwufazowego nazywam ruch względny i średni układu struktur gazowych, przy jednocześnie możliwych zmianach rozkładów ich rozmiarów i kształtów. Wszystkie charakterystyczne dla danego przepływu cechy, takie jak: średnia szybkość ruchu, rozmiary i kształty obiektów gazowych, ich zmienność i wzajemna ruchliwość mieszczą się w podanej definicji. Jednak określenie 'charakterystyka przepływu', którym posługuję się przy opisie przepływów dwufazowych ma szersze znaczenie. Obejmuje również, poza cechami wymienionymi powyżej, typowe dla danego przepływu zjawiska manifestujące się w dużej skali czasowej. Wśród nich, jako najważniejsze można wymienić: okresowość, rekurencyjność, intermitencja, chaos oraz szum.

Ruch obiektów gazowych bezpośrednio wpływa na zmianę wszystkich wielkości fizycznych, rejestrowanych w eksperymentach mierzących ten proces. Najczęściej stosowane metody doświadczalne w badaniach przepływów dwufazowych opierają się na pomiarach: transmisji światła lasera w kierunku prostopadłym do osi kanału, różnicy ciśnień pomiędzy dwoma oddalonymi punktami kanału, temperatury na ścianie kanału, potencjałów elektrostatycznych na układzie elektrod, pomiarach optycznych z wykorzystaniem sondy z włókna szklanego, pomiarach odbicia fal ultradźwiękowych oraz rejestracji danych wideo. Badania opisane w przedstawionym cyklu A analizowały dane pozyskane w pomiarach transmisji światła laserowego, pomiarach spadku ciśnienia wzdłuż kanału przepływu oraz konwersji obrazów wideo.

W swoich badaniach koncentrowałem się przede wszystkim na wykorzystaniu metod numerycznych, jako narzędzi umożliwiających przetworzenie eksperymentalnych szeregów czasowych na wartości odpowiednich parametrów i kwantyfikatorów wybranych w taki sposób, aby ich zmiany w czasie, możliwie najlepiej oddawały zmiany dynamiki przepływu mieszaniny dwufazowej. Do analizy

szeregów czasowych zarejestrowanych w trakcie przepływów dwufazowych, wykorzystywałem zarówno znane i sprawdzone metody numeryczne, jak również własne metody i techniki opracowane jako narzędzia wspomagające rozwiązywanie poszczególnych problemów.

Przepływ mieszaniny fazy ciekłej i gazowej tworzy w kanale charakterystyczne układy struktur gazu. Ich cechy zależą od wielu czynników, takich jak kształt przekroju kanału, powierzchnia wewnętrzna kanału, jego średnica, względne wydatki obu faz, szybkość przepływu, ciśnienie oraz temperatura. W opisie procesów przepływu dwufazowego wygodnie jest posługiwać się pojęciami określającymi najczęściej występujące konfiguracje. W literaturze można spotkać różne klasyfikacje przepływów dwufazowych, np.: [1,2]. W niniejszym opisie przyjmuję następujący podział. Wychodząc od wolnych przepływów z niewielką względną zawartością fazy gazowej i idąc w kierunku dużych prędkości przepływu i dużej względnej zawartości fazy gazowej wyróżniamy kolejne konfiguracje: pęcherzykową, bąbelkową, korkową (duże bąble o rozmiarach porównywalnych ze średnicą kanału), rozciągniętych korków (struktury gazu o długości wyraźnie dłuższej od średnicy kanału), pianową (chaotyczny ruch wielu niewielkich struktur gazu) i pierścieniową (ciecz płynie w warstwie przy ścianach kanału, gaz w jego środkowej części).

Analizowane w przedstawionym cyklu dane przepływów dwufazowych zostały zarejestrowane w eksperymentach realizowanych w ramach wspólnego grantu NCN w grupie prof. Romualda Mosdorfa w Politechnice Białostockiej. Pomiary przepływów mieszaniny wody i powietrza były wykonywane w warunkach normalnych. Temperatura mieszaniny wynosiła około 20 °C, jej różnica pomiędzy końcami kanału wahała się w okolicach 1,5 °C. Przy tak niskich wartościach temperatury i jej gradientu możemy przyjąć, że nie powodowała ona znaczących zmian dynamiki struktur gazu w czasie przepływu.

W ramach badań doświadczalnych przepływów dwufazowych raportowanych w przedstawionym cyklu publikacji analizowane były procesy zachodzące w kanałach o przekroju okrągłym oraz średnicach wewnętrznych od 1 mm do 5 mm. W niektórych eksperymentach kanały przepływu ustawiane były pod różnym kątem nachylenia do pionu. Badane przepływy można podzielić na dwie zasadnicze grupy: stacjonarne i niestacjonarne. W przepływach stacjonarnych, w czasie pomiaru utrzymywane były stałe wartości wydatków wody i powietrza tłoczonych przez generator do kanału. W przypadku przepływu niestacjonarnego tylko jeden wydatek był ustalony, podczas gdy drugi zmieniał swoją wartość w miarę upływu czasu. Wydajności obu faz wyrażamy w litrach na minutę. W obu grupach przepływów eksperymenty były realizowane poprzez wykonywanie serii pomiarów. W pomiarach przepływów

stacjonarnych serie powstawały przy utrzymywaniu na stałym poziomie wydajności obu fazy, przy czym wartość jednej z nich była systematycznie zmieniana z pomiaru na pomiar. Serie pomiarów niestacjonarnych otrzymywane były poprzez systematyczną zmianę w kolejnych pomiarach wartości wydajności tej fazy, która w czasie trwania pomiaru była utrzymywana na stałym poziomie. Faza zmienna w trakcie każdego pomiaru serii zmieniała swoją wartość w tym samym zakresie.

Streszczenie wyników badań opublikowanych w cyklu prac A

W pracy [A1] opisane zostały wyniki badań przepływów niestacjonarnych w kanale o średnicy wewnętrznej równej 3 mm. W eksperymencie niestacjonarność przepływu była wynikiem zmieniającej się w czasie wydajności wody (q). Analiza danych miała na celu zbadanie stabilności przepływów i wychwycenie jej zmian, związanych z koalescencją pęcherzyków i bąbli powietrza dla przepływów z dużą liczbą niewielkich struktur gazu oraz z procesem rozbijania rozciągniętych korków na mniejsze struktury, który może występować w przepływach z dużą względną zawartością fazy gazowej. Analizie poddane zostały wyniki pomiaru transmisji światła laserowego. Badania numeryczne ukierunkowano na analizę rekurencyjności przepływów. Zastosowana została metoda RP (recurrence plot) [3-5] oraz oparta na niej metoda wyznaczania kwantifikatorów statystycznych RQA (Recurrence Quantification Analysis) [4,6,7]. W zarejestrowanych danych wideo zaobserwowano przejścia układu pomiędzy konfiguracją gęsto ułożonych niewielkich bąbelków gazu a konfiguracją rozciągniętych korków, występujące przy zmianie q . Analiza kwantifikatorów RQA potwierdziła występowanie tych zmian. Otrzymane wyniki wskazują na to, że łączenie się małych struktur gazowych w długie korki może być zjawiskiem samoorganizacji przepływu zachodzącym dla niektórych kombinacji wydajności wody i gazu.

Podobne badania zostały przeprowadzone dla przepływów w kanale o średnicy 1 mm [A2]. W tym przypadku wyniki RQA wskazują na szumowy charakter przepływu w prawie całym zakresie zmian wydajności wody q . Daje się zauważyć jedynie niewielki przedział wartości q , w którym zmiany kwantifikatorów RQA odpowiadają wzrostowi uporządkowania struktur gazu. Analizy numeryczne wykazały istnienie korelacji pomiędzy kwantifikatorami $1/L_{MAX}$ i DET , gdzie L_{MAX} jest maksymalną długością linii diagonalnych diagramu RP, a DET (determinism) jest stosunkiem liczby punktów leżących na liniach diagonalnych do liczby wszystkich punktów diagramu.

Praca [A3] przedstawia wyniki badania przepływów dwufazowych w kanale o średnicy wewnętrznej równej 3 mm, przeprowadzone w warunkach zmiennej

wydajności gazu (q_a) oraz wydajności wody q utrzymywanej na stałym poziomie. Analiza obrazów wideo wykazała, że dla określonych wartości q_a występuje samoorganizacja struktur przepływu w układy periodyczne. Analizy numeryczne przeprowadzone zostały dla danych zarejestrowanych przez czujnik mierzący transmisję światła laserowego. Wybrano cztery przepływy różniące się wartością q_a . Wynik obliczeń transformaty Fouriera pokazał w widmie częstotliwości niewielkie i szerokie wierzchołki, świadczące o słabej periodyczności przepływu struktur gazu. Dodatkowo obliczona została kompozytowa entropia wieloskalowa *CMSE* (composite multi-scale entropy) [8-10]. Zmiany wartości entropii *CMSE* oddają zarówno zmiany skali czasowej charakterystycznej dla poszczególnych przepływów, jak i różnice w ich złożoności.

Kolejne badania, których wyniki zostały opublikowane w pracy [A4] dotyczyły serii przepływów stacjonarnych w kanale o średnicy wewnętrznej 5 mm. Dla każdej serii pomiarów ustalana była wartość q . W kolejnych przepływach serii wartość q_a przyjmowała rosnące wartości. Wszystkie serie dla tych samych wartości q i q_a zostały powtórzone dla trzech nachyleń kanału względem pionu (90° , 45° i 0°). Zbadano korelacje krzyżowe szeregów czasowych otrzymanych z konwersji danych wideo. Na podstawie wyników eksperymentalnych i numerycznych analizowany był związek kształtu funkcji korelacji krzyżowej z charakterystyką przepływu dwufazowego. Wyznaczono prędkości przepływu obu faz oraz diagramy prezentujące ewolucję otrzymanych korelacji, zachodzącą w poszczególnych seriach wraz ze zmianą wydajności powietrza q_a . Wyniki zaprezentowane w pracy [A4] dowodzą, że obliczenia korelacji krzyżowych wykonane w oparciu o dane otrzymane z konwersji wideo dostarczają wiele wartościowych informacji o dynamice przepływu mieszaniny dwufazowej.

W następnej pracy [A5] do poszukiwania zmian konfiguracji przepływów, jego samoorganizacji i periodyczności wykorzystane zostały metody statystyczne. Obliczony wykładnik Hursta pozwolił określić zakres q_a , w którym mogą występować interesujące nas zjawiska. Dalsza analiza przepływów z tego zakresu wykonana została na podstawie histogramów. Dla wszystkich przepływów określony został stosunek poziomu szumu do sygnału *NTS* (noise to signal). Do tego celu zastosowano wcześniej wprowadzoną metodę [11,12]. Wyniki *NTS* były skorelowane z wnioskami wynikającymi z obliczeń wykładnika Hursta.

Inne badania dotyczyły przejść od przepływu chaotycznego do sekwencji rozciągniętych korków, które można było zaobserwować w kanale 2 mm dla niektórych

wartości q [A6]. Widoczna na obrazach wideo zmiana konfiguracji płynących struktur z chaotycznego układu różnej wielkości bąbelków i pęcherzyków powietrza do konfiguracji długich korków została potwierdzona poprzez analizę rekurencyjną. Najciekawsze wyniki uzyskane zostały dla diagramów RP, na których po zastosowaniu odpowiedniego zanurzenia ([13]) uwidacznia się periodyczność przepływu, reprezentowana na diagramie przez długie linie diagonalne. Dla mniejszych q przepływ staje się chaotyczny, co powoduje zanikanie tych linii. Należy zaznaczyć, że przejścia od przepływu bąbelkowego do korkowego nie jest jedynym możliwym, następującym w miarę wzrostu względnej zawartości fazy gazowej. W zależności od parametrów przepływu, dla dużej wartości składowej gazowej możemy uzyskać przepływy pierścieniowe, bąbelkowe chaotyczne lub pianowe.

Głównym celem pracy [A7] było zbadanie zmienności przepływów niestacjonarnych i chaotycznych pochodzących z różnych źródeł, w tym z badań przepływów dwufazowych. Wykorzystano w niej nową miarę zmienności sygnałów opartą na pomiarze różnic występujących w ich rekurencyjności. Jak pokazano, zastosowana miara jest czuła na zmiany konfiguracji struktur gazu i ich dynamiki, zachodzące w niestacjonarnym przepływie dwufazowym.

W pracy [A8] punktem wyjścia do badań przepływów dwufazowych w kanale 3 mm była macierz przepływów utworzona na podstawie zarejestrowanych danych wideo. Współrzędne elementów tej macierzy (poszczególne przepływy) zostały określone poprzez wydajności przepływu (q , q_a). Wartości te zapisane do tabeli utworzyły graficzną reprezentację macierzy. Porównanie z obrazami wideo było podstawą przyporządkowanie elementom tej macierzy określonych układów struktur gazu, charakterystycznych dla danego przepływu. Poprzez rozdzielanie liniami rozgraniczającymi grup elementów macierzy odpowiadających podobnym układom struktur gazu utworzony został uproszczony diagram fazowy. Dla każdego z elementów macierzy obliczono wybrane kwantyfikatory RQA. Do obliczeń wykorzystane zostały szeregi czasowe otrzymane z pomiarów transmisji światła laserowego. Następnie, analizie poddane zostały macierze przepływów z przypisanymi wartościami poszczególnych kwantyfikatorów. Po połączeniu liniami rozgraniczającymi pól macierzy z maksymalnymi ich wartościami powstały diagramy fazowe charakterystyczne dla danych kwantyfikatorów. Wywnioskowano, że linie otrzymane dla kwantyfikatorów $1/L_{MAX}$ oraz $T^{(2)}$ (czas rekurencyjny drugiego typu) są jakościowo zgodne z liniami rozgraniczającymi wyznaczonymi dla macierzy przepływów i mogą być stosowane jako kryterium służące do rozróżniania na diagramach wydajności

przepływów obszarów o różnej dynamice.

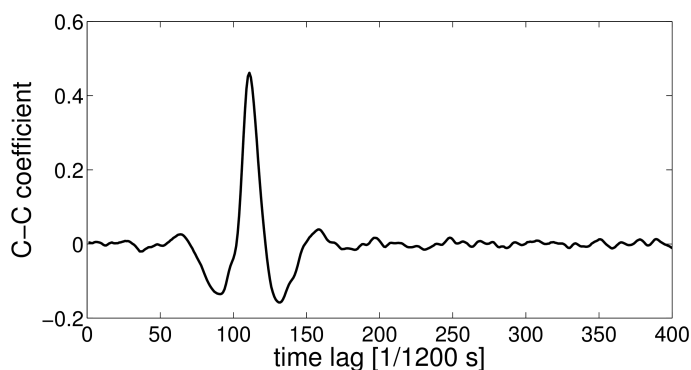
Podobne analizy numeryczne przepływów dwufazowych zostały zaprezentowane w pracy [A9], w której kwantyfikatory rekurencyjne obliczono dla danych otrzymanych z czujników ciśnienia. Linie rozgraniczające wyznaczone na podstawie kwantyfikatora $T^{(2)}$ były, tak jak w poprzednim przypadku, jakościowo zgodne z liniami wyznaczonymi eksperymentalnie na podstawie obrazów wideo. Podobnej zgodności nie zaobserwowano dla kwantyfikatora I/L_{MAX} . Jego wysokie wartości usytuowane były na diagramie przepływów w obszarze odpowiadającym dużym wydajnościom obu faz mieszaniny. Wskazuje to na to, że w tym zakresie parametrów przepływu diagramy RP charakteryzują się krótkimi liniami diagonalnymi.

Opis wybranych wyników

W ramach badań przepływów dwufazowych raportowanych w przedstawionym cyklu prac wykonywałem obliczenia numeryczne różnych funkcji, wielkości, parametrów i kwantyfikatorów. Uczestniczyłem w dyskusji wyników oraz współredagowałem treści publikacji. W szczególności chciałem zwrócić uwagę na otrzymane przeze mnie wyniki, które w mojej ocenie mają szczególne znaczenie. Zaliczam do nich: opracowanie i zastosowanie techniki konwersji danych wideo zarejestrowanych dla przepływów dwufazowych na szeregi czasowe, badanie dynamiki przepływów na podstawie analizy krzywych korelacji krzyżowej oraz opracowanie metody badania zmienności sygnałów niestacjonarnych poprzez pomiar różnic ich rekurencyjności.

Jakość otrzymywanych eksperymentalnie szeregów czasowych ma decydujący wpływ na wyniki badań numerycznych. Przegląd literatury opisującej metody eksperymentalne stosowane w badaniach przepływów dwufazowych dostarcza wielu przykładów różnych technik pomiarowych, które pozyskują szeregi czasowe w wyniku pomiaru różnych wielkości fizycznych. W większości przypadków stosowane metody działają z jednoczesnym uśrednianiem danych przestrzennie i/lub czasowo (średnica promienia laserowego, pole oddziaływania fal ultradźwiękowych, wykrywanie zmian potencjału przez układ sond elektrostatycznych, pomiary ciśnienia, temperatury), np.: [14,15] bądź osiągają większą precyzję kosztem ingerencji układu pomiarowego do wnętrza kanału (metoda włókna optycznego) [16]. Pomimo tego, że w większości przypadków eksperymenty są wykonywane z jednoczesną rejestracją przepływów przez szybkie kamery cyfrowe, to bardzo rzadko obraz wideo wykorzystywany jest jako źródło danych do analizy numerycznej. Niektóre opublikowane prace, które są

przykładem badania przepływów poprzez analizę danych wideo realizują bardzo skomplikowane metody przetwarzania obrazu na dane liczbowe [17]. Inne, w znacznym stopniu uśredniają informację zawartą w obrazach wideo [18]. W pracy [A4] zastosowałem opracowaną przez siebie technikę pozyskiwania szeregów czasowych z danych wideo zarejestrowanych w czasie przepływów dwufazowych. Technika ta polega na prostych przekształceniach geometryczno - numerycznych i pozwala uzyskać szeregi czasowe o rozdzielczości czasowej równej okresowi rejestracji obrazów przez kamerę wideo (w tym przypadku 1/1200 s) oraz rozdzielczości przestrzennej odpowiadającej jednemu pikselowi obrazu. Miejsce obrazu, z którego konwertuję sygnał, nazwałem bramą. W pracy [A4] wykorzystane zostały dwa szeregi pozyskiwane równolegle z dwóch bram usytuowanych blisko przeciwległych krańców obrazu kanału. Wykazałem w niej, że obliczenia korelacji krzyżowej obu sygnałów w funkcji przesunięcia τ wzdłuż osi czasu, dają w wyniku krzywe $CC(\tau)$, które zmieniają swój kształt w zależności od parametrów eksperymentu determinujących dynamikę przepływu. Na rys. 1 pokazana jest przykładowa



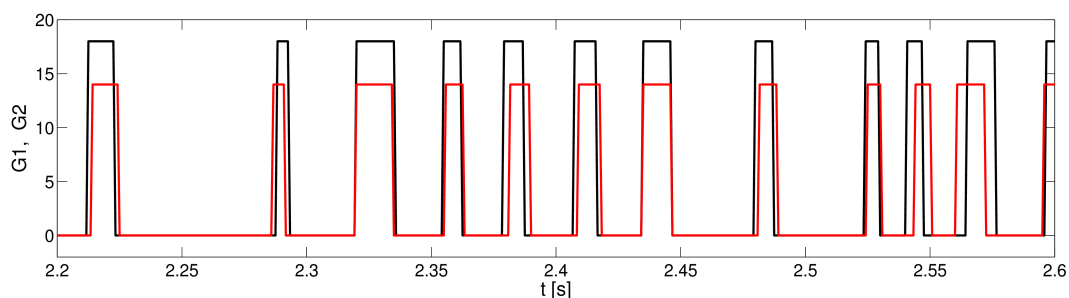
Rys. 1: Wynik korelacji krzyżowej obu szeregów czasowych otrzymanych na bramach konwersji, dla przepływu dwufazowego w kanale o średnicy 5mm. Wydajności przepływów: $q=0.52$ l/min, $q_a=0,0457$ l/min [A4]

krzywa korelacji otrzymana dla jednego z badanych przepływów. Korelacje krzyżowe obu sygnałów zostały wyznaczone poprzez obliczenia współczynniki korelacji czasowo - przestrzennej Eulera przy ustalonym przesunięciu przestrzennym r :

$$C(X, Y, \tau) = \frac{E[X(x, t_1)Y(x+r, t_1+\tau)]}{\sqrt{E[X^2(x, t_1)]}\sqrt{E[Y^2(x+r, t_1+\tau)]}} \quad (1)$$

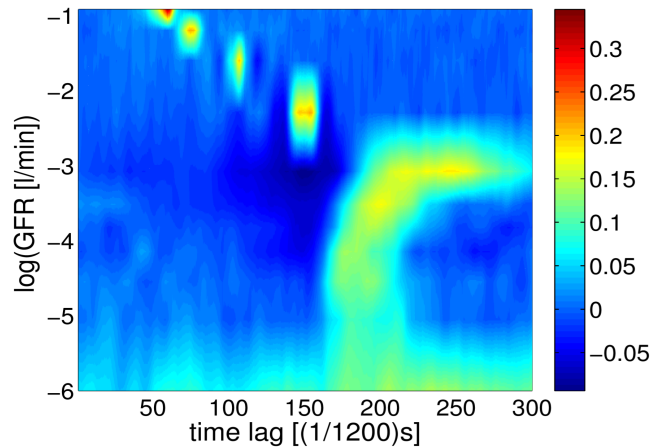
X jest szeregiem czasowym otrzymanym z bramy ustawionej w x , Y - jest szeregiem

otrzymanym z bramy ustawionej w punkcie $x+r$. Zarówno x , jak i r pozostają stałe. Aby umożliwić ocenę i dyskusję wyników korelacji, opracowałem prosty model symulujący przepływ dwufazowy, w którym rozkłady statystyczne decydują o rozmiarach struktur gazu, ich wzajemnych odległościach oraz zmianach następujących w płynącym układzie w czasie jego przejścia pomiędzy bramami. Z modelu można wyprowadzić szeregi czasowe otrzymywane na obu bramach konwersji (Rys. 2), zakładając



Rys. 2: Numerycznie modelowane szeregi czasowe otrzymane na obu bramach konwersji. Dla lepszego porównania szeregi zostały przesunięte względem siebie o czas przepływu struktur gazu pomiędzy bramami [A4]

określone statystyki rządzące rozmiarami, układem i dynamiką struktur gazu. Porównując wyniki korelacji obliczone na podstawie modelu z wynikami uzyskanymi z danych wideo, można opisać charakterystyczną konfigurację struktur gazu badanego przepływu, oraz jego dynamikę. Prędkość przepływu struktur gazu jest wielkością, którą najłatwiej wyznaczyć z krzywych korelacji. Poprzez porównanie jej z wydajnościami przepływu, przeanalizowano różnice pomiędzy prędkościami przepływu obu faz. Wyniki pokazują, że w większości przypadków struktury gazu płyną wolniej niż ciecz. Spowodowane jest to ich oddziaływaniem ze ściankami kanału. Przy jego powierzchni powstaje warstwa przepływu turbulentnego, wyhamowująca ocierające się o nią bąble i pęcherze. Mechanizm ten zmienia się przy wzroście względnej zawartości fazy gazowej i jednoczesnym wzroście prędkości mieszaniny. W skrajnych przypadkach przepływ długich korków gazu następuje szybciej niż ruch warstwy otaczającej je cieczy (konfiguracja pierścieniowa). W omawianej pracy zaproponowałem również zbiorcze prezentacje wyników serii pomiarów na dwuwymiarowych mapach korelacji (rys. 3). Na takich wykresach widać, w jaki sposób ewoluuje charakterystyczna zmienność krzywej korelacji w kolejnych przepływach, czyli przy zmianie q_a . W następnym kroku analizy wyników serii pomiarów, zredukowałem mapy 2D korelacji całych serii przepływów do jednej krzywej, którą nazwałem krzywą rzutową. Redukcję przeprowadziłem wykorzystując odwrotną ciągłą



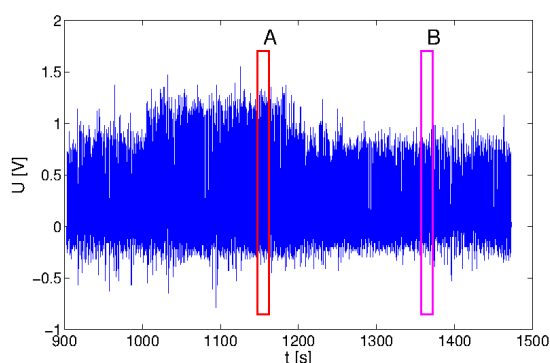
Rys. 3: Mapa 2D reprezentująca wyniki korelacji serii przepływów w pionowym kanale o średnicy 5mm, wykonanej dla wydajności wody równej $q=0.228$ l/min [A4]

transformatę falkową. Na przykładach wykazałem, że krzywe rzutowe zachowują najważniejsze informacje o charakterze korelacji występujących w poszczególnych przepływach serii.

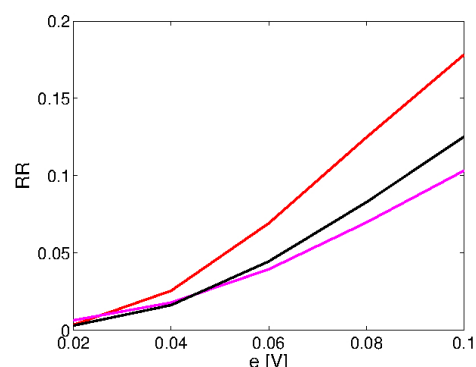
W referowanych badaniach przepływów dwufazowych często wykorzystywałem metody rekurencyjne. Metody te stosowałem również do analizy danych pochodzących z innych układów mechanicznych, hybrydowych czy biomedycznych. Zwykle były to układy nieliniowe z szumem. Jednym z celów badań takich układów – podobnie jak w przypadku przepływów dwufazowych – jest wykrycie takich cech, jak chaotyczność, poziom szumu lub periodyczność oraz sprawdzenie, w jakich warunkach układ zmienia swoją charakterystykę. Badania tych zagadnień oraz problemy, które przy tym napotykałem stanowiły silną motywację do poszukiwania nowych sposobów badania zmienności sygnałów nieliniowych. Wykorzystując zdobyte doświadczenie oraz dysponując własnym aparatem numerycznym do badania rekurencji opracowałem miarę zmienności sygnałów, którą nazwałem niepodobieństwem rekurencyjnym RD (recurrence dissimilarity). Praca [A7] zawiera definicję tej miary i sprawdza jej skuteczność na przykładzie analizy znanych układów nieliniowych (Burke-Show, Windmi, Duffing – van der Pol), sygnałów EKG oraz serii czasowych otrzymanych dla przepływów dwufazowych. Miara RD wykorzystuje RR (recurrence rate), podstawowy kwantyfikator analizy RQA. Dla diagramu RP obliczamy go jako stosunek liczby punktów nietrywialnie rekurencyjnych do liczby wszystkich punktów diagramu leżących poza główną diagonalną (rów. 2).

$$RR = \frac{\sum_{i,j \neq i}^N R_{ij}^\epsilon}{N(N-1)} \quad (2)$$

Punkty rekurencyjne R_{ij}^ϵ wyznaczone są w oparciu o parametr przejścia ϵ , określający maksymalną odległość uznawaną w metodzie za tzw. zbliżenie rekurencyjne. Można go również zdefiniować, jako parametr tolerancji przy określaniu podobieństwa stanów. W literaturze można spotkać analizy zależności $RR(\epsilon)$ zastosowane do badań rekurencyjnych różnych układów i zjawisk [19, 20]. W swoim podejściu zaproponowałem pomiar różnicy charakteru sygnału pochodzącego z dwóch okien czasowych, poprzez obliczanie odległości pomiędzy wyznaczonymi dla tych okien liniami $RR(\epsilon)$. Rysunek 4b prezentuje przykładowe krzywe $RR(\epsilon)$ wyznaczone dla dwóch okien czasowych umieszczonych w momentach, w których sygnał ma różną charakterystykę (rys. 4a). Na rysunku 4b kolorem czarnym oznaczona jest krzywa $RR(\epsilon)$, będąca wynikiem rekurencji krzyżowych pomiędzy obydwoma oknami. Jak wykazały przeprowadzone testy, RD nie zależy od amplitudy sygnału. Dane prezentowane na rys. 4a zostały wybrane w taki sposób, żeby zmianie charakteru



Rys. 4a: Dwa porównywane okna czasowe umieszczone w miejscach o różnej charakterystyce zmian sygnału [A7]

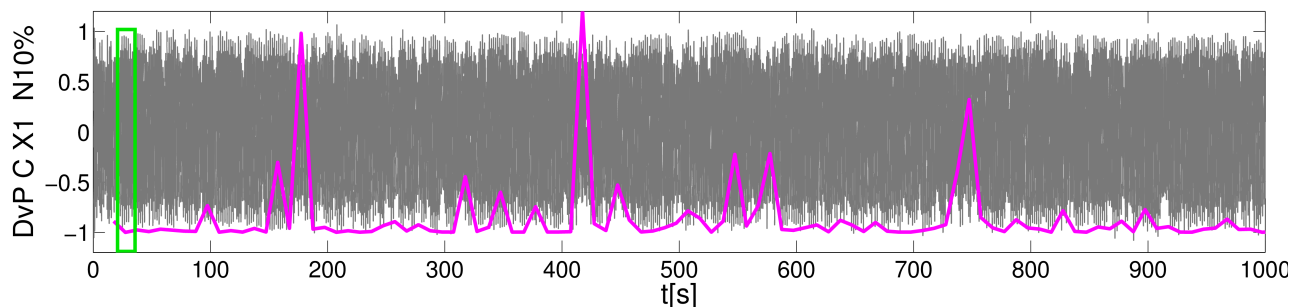


Rys. 4b: Krzywe $RR(\epsilon)$ dla dwóch okien czasowych o różnej charakterystyce sygnału (czerwony - A, magenta - B) [A7]

sygnału towarzyszyła jednoczesna zmiana jego średniej amplitudy. Dzięki temu łatwo możemy rozróżnić obszary o różnej charakterystyce sygnału. Testowanie zmienności szeregu czasowego polegało na zastosowaniu techniki przesuwania jednego z okien, przy ustalonej pozycji drugiego. Okno stałe nazywamy oknem odniesienia. W wykonanych analizach do wyznaczania odległości pomiędzy krzywymi $RR(\epsilon)$ stosowana była miara euklidesowa:

$$D_{RR} = \sqrt{\sum_i [RR_1(\epsilon_i) - RR_2(\epsilon_i)]^2} \quad (3)$$

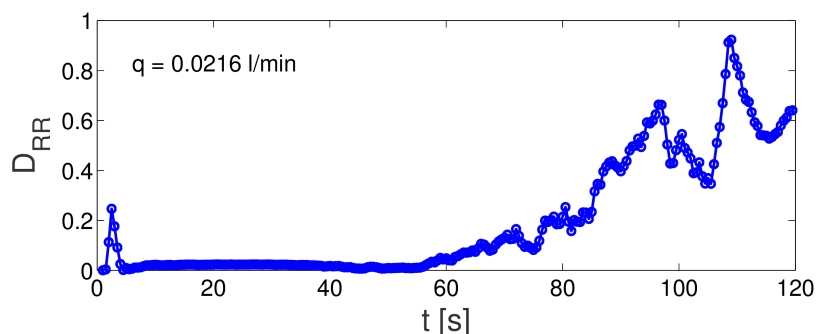
Decydujący wpływ na wyniki D_{RR} ma odpowiedni dobór parametrów zanurzenia (m – wymiar zanurzenia, τ – opóźnienie czasowe), umożliwiających rekonstrukcję przestrzeni fazowej badanego układu. Parametry te można wyznaczyć stosując odpowiednie procedury, na przykład metodę najbliższych fałszywych sąsiadów [21]. Chcąc uzyskać jak najlepsze wyniki miary rekurencyjnej, w pracy [A7] parametry zanurzenia zostały wyznaczone na drodze optymalizacji numerycznej, weryfikowanej przez jakość otrzymywanych wyników. Badania zmienności serii czasowych, wygenerowanych przez testowane układy nieliniowe, dały pozytywne wyniki. Na rys. 5



Rys. 5: Wyniki RD (magenta) dla układu Duffing - van der Pol (magenta). Zielonym kolorem oznaczone zostało okno odniesienia. W tle wykreślony został badany przebieg czasowy (szary) [A7]

prezentowany jest przykładowy rezultat otrzymany dla układu Duffinga - van der Pola, pracującego w trybie chaotycznym, z rzadkimi intermitentnymi przeskokami do krótkotrwałych trybów pracy regularnej. Jak pokazały wyniki przeprowadzonych obliczeń, nawet po wprowadzeniu dodatkowego zakłócenia sygnału nieliniowego szumem, miara RD bezbłędnie wykrywa krótkotrwałe zmiany charakterystyki sygnału. W pracy [A7] pokazane zostały wyniki zastosowania miary RD do analizy niestabilnych sygnałów EKG oraz do badań zmienności sygnałów otrzymanych z pomiarów niestacjonarnych przepływów dwufazowych w kanale 2 mm.

Wynik pomiaru RD dla dla jednego z takich przepływów, zmierzonego przy stałej wydajności powietrza równej $q_a = 0,00216$ l/min przedstawiony jest na rys. 6. W trakcie pomiaru wydajność wody q była zmniejszana od wartości 0,085 l/min do 0,01 l/min. W takich warunkach eksperymentu, w czasie trwania pomiaru zwiększa się względna zawartość powietrza w mieszaninie oraz zmniejsza się prędkość jej przepływu. Wynik pokazany na rys. 6 został otrzymany dla okna odniesienia położonego na początku osi t . W przeciwieństwie do pracy [A7], w której analizowane były dane zmierzone przez sondę laserową, rys. 6 przedstawia wyniki dla serii czasowych otrzymanych z konwersji danych wideo. Miara rekurencyjna daje lepsze wyniki przy analizie szeregów czasowych o dużej rozdzielczości czasowej. Jest to szczególnie widoczne dla przepływów niewielkich struktur gazu. Wykazałem to,



Rys. 6: Wynik obliczeń miary RD dla przepływu niestacjonarnego w kanale 2 mm przy wydajności powietrza utrzymywanej na stałym poziomie równym $q_a = 0,00216$ l/min

prezentując porównanie wyników obliczeń miary RD dla serii czasowych otrzymanych z czujników laserowych i danych wideo na konferencji „Sixth International Symposium on Recurrence Plots”, (Grenoble 2015). Porównanie otrzymanych wyników z obrazami wideo świadczy o tym, że w zastosowaniu do badania zmian charakterystyki przepływów miara RD pracuje znacznie efektywniej niż kwantyfikatory RQA, czy inne metody statystyczne stosowane w wymienionych pracach cyklu A. Najlepiej obrazuje to rys. 6, na którym funkcja D_{RR} pozostaje niezmienna (na poziomie 0) dla przepływu o charakterze bąbelkowym, wykrywa niewielki pik w okolicy $t = 2$ s związany z chwilowym zaburzeniem kontroli przepływu, podnosi swoją wartość przy zmianie charakteru przepływu na korkowy (dla $t = 55$ s) oraz poprzez zmiany niemonotoniczne i ostre wierzchołki wskazuje na szereg rekonfiguracji płynącego układu struktur, następujących wraz ze wzrostem względnej zawartości fazy gazowej mieszaniny.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki zawierają przykłady zastosowania nowoczesnych metod numerycznych do badania złożoności i regularności występujących w przepływach dwufazowych. W szczególności chciałbym podkreślić wykorzystanie w tych badaniach opracowanych przez siebie technik i metod numerycznych. Znaczący wpływ na wyniki metod numerycznych ma jakość analizowanych serii czasowych. Stosując zaproponowaną technikę pozyskiwania danych z konwersji obrazów wideo, otrzymujemy szeregi o dużej rozdzielczości czasowej i przestrzennej. Przy tym jest to jednocześnie technika prosta w zastosowaniu i tania – nie wymaga budowy złożonych układów eksperymentalnych. Procedurę można rozszerzyć na konwersje wielowymiarowe, modyfikując algorytm konwersji lub wykorzystując jednoczesną rejestrację obrazu przez większą liczbę kamer.

Korelacje opierające się na matematycznym operatorze splotu funkcji są powszechnie wykorzystywane w nauce, jednak bardzo rzadko są one eksploatowane przy badaniu przepływów dwufazowych. Stosując tą metodę chciałem pokazać, jak duży w niej tkwi potencjał. Otrzymane z niej krzywe korelacji (funkcje $CC(\tau)$), niosą ze sobą informacje zarówno o ekstremalnej wartości korelacji (co pozwala wyznaczyć np. prędkość struktur gazu lub charakterystyczne trendy serii przepływów), jak również bardzo szczegółową charakterystykę układu struktur gazu i ich dynamiki, manifestującą się w ich kształcie. Kształt krzywej można odtworzyć numerycznie, dopasowując szereg parametrów rozważanego modelu przepływu. W oparciu o otrzymane wyniki uważam, że techniki analizy korelacji krzyżowych danych otrzymanych z konwersji wideo mogą być stosowane jako narzędzie do wyznaczania wykresów fazowych przepływów dwufazowych. Parametry wydajności obu faz oraz współczynniki kształtu funkcji korelacji, można wykorzystać do wyznaczenia numerycznych wskaźników klasyfikujących przepływ do odpowiedniej grupy.

Zaproponowana miara RD daje dobre wyniki przy badaniu zmienności różnych serii czasowych. Jest to najprostsza realizacja miary rekurencyjnej. Można ją rozwijać stosując bardziej wyrafinowane kwantyfikatory RQA. Praca [A7] udowadnia, że nawet przyjmując w definicji miary stosunkowo prostą formułę (rów. 3) otrzymujemy wyniki, które pokazują jej skuteczność w zastosowaniu do badania dynamiki przepływów dwufazowych oraz ogólnych własności sygnałów nieliniowych, takich jak: determinizm, poziom szumu, czy chaotyczność.

Zastosowane metody, szczególnie te związane z analizą danych wideo mogą być łatwo rozszerzone na badania przepływów mieszanin innych faz, takich jak ciecz-faza stała, ciecz-ciecz czy mieszaniny wieloskładnikowe. Będą one czułe również na wszelkie zjawiska zachodzące w przepływach pod wpływem wysokich temperatur, dużych ciśnień oraz znacznych wartości gradientów obu tych wielkości.

4.c Literatura

- [1] D.J. Nicklin, J.O. Wilkes, J.F. Davidson, „*Two-phase flow in vertical tubes*”, Trans. Inst. Chem. Engrs. **40**, 61-68 (1962)
- [2] K. Mishim and T. Hibiki, „*Some characteristics of air-water two-phase flow in small diameter vertical tubes*”, International Journal of Multiphase Flow **22**, 703-712 (1996)
- [3] I.P. Eckmann, S.O. Kamphorst, and D. Ruelle, „*Recurrence Plots of Dynamical Systems*”, Europhys. Lett. **5**, 973 (1987)
- [4] C.L. Webber, Jr. and J.P. Zbilut, „*Dynamical assessment of physiological systems*

- and states using recurrence plot strategies*", J. Appl. Physiol. **76**, 965 (1994)
- [5] M. Castagli, „*Chaos and deterministic versus stochastic non-linear modeling*”, J. R. Stat. Soc. B **54**, 303 (1992)
- [6] N. Marwan, „*Encounters with Neighbours: Current Development of Concepts Based on Recurrence Plots and their Applications*”, PhD Thesis, Universitaet Potsdam, Potsdam 2003
- [7] N. Marwan, M.C. Romano, M. Thiel, and J. Kurths, „*Recurrence plots for the analysis of complex systems*”, Phys. Rep. **438**, 237 (2007)
- [8] M. Costa, C.-K. Peng, A.L. Goldberger, J.M. Hausdorff, „*Multiscale entropy analysis of human gait dynamics*”, Physica A **330**, 53 (2003)
- [9] M. Costa, A.L. Goldberger, C.-K. Peng, „*Multiscale entropy analysis of biological signals*”, Physical Review E **71**, 021906 (2005)
- [10] S.-D. Wu, C.-W. Wu, S.-G. Lin, C.-C. Wang, K.-Y. Lee, „*Time Series Analysis Using Composite Multiscale Entropy*”, Entropy **15**, 1069 (2013)
- [11] T. Kamiński, M. Wendeker, K. Urbanowicz, G. Litak, „*Combustion process in a spark ignition engine: dynamics and noise level estimation*”, Chaos **14**, 461 (2004)
- [12] G. Litak, R. Taccani, R. Radu, K. Urbanowicz, J.A. Holyst, M. Wendeker, A. Giadrossi, „*Estimation of a noise level using coarse-grained entropy of experimental time series of internal pressure in a combustion engine*”, Chaos, Solitons & Fractals **23**, 1695 (2005)
- [13] H. Kantz, T. Schreiber, Non-linear Time Series Analysis (Cambridge University Press, Cambridge, 1997)
- [14] F. Dong, Z.X. Jiang, X.T. Qiao, L.A. Xu, 2003. „*Application of electrical resistance tomography to two-phase pipe flow parameters measurement*”. Flow Meas. Instrum. **14**, 183–192 (2003)
- [15] Z.-K. Gao, X.-W. Zhang, N.-D. Jin, N. Marwan, J. Kurths, „*Multivariate recurrence network analysis for characterizing horizontal oil-water two-phase flow*”, Phys. Rev. E **88**, 032910 (2013)
- [16] A. Sakamoto, T. Saito, „*Robust algorithms for quantifying noisy signals of optical fiber probes employed in industrial-scale practical bubbly flows*”. Int. J. Multiphase Flow **41**, 77–90 (2012)
- [17] Y. Zhou, H. Li, and Y. Miao, „*A new method for the study of two-phase flow patterns based on the chaotic characteristic method of image fields*”, Flow Measurement and Instrumentation **30**, 18-25 (2013)
- [18] H. Li, Y. Zhou, B. Sun, Y. Yang, „*Multi-scale chaotic analysis of the characteristics of gas-liquid two-phase flow patterns*”. Chin. J. Chem. Eng. **18** (5), 880–888 (2010)

- [19] G. Litak, J. T. Sawicki, R. Kasperek, „*Cracked rotor detection by recurrence plots*”, *Nondestructive Testing and Evaluation* **24**, 347-351 (2009)
- [20] M. I. Friswell, G. Litak, J. T. Sawicki, „*Crack identification in rotating machines with active bearings*”, *Proc of ISMA, Leuven, Belgium, 20-22 September*, 2843-2855 (2010)
- [21] L. Cao, „*Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series*”, *Physica D* **110**, 43-50 (1997)

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze

Jako pozostały dorobek naukowy przedstawiam wyniki badań zjawisk, materiałów i układów mechanicznych, zaprezentowane w następujących publikacjach:

- B1 G. Litak, D. Bernardini, A. Syta, G. Rega, **A. Rysak**, „*Analysis of chaotic non-isothermal solutions of thermomechanical shape memory oscillators*”, *European Physics Journal: Special Topics* **222**, 1637-1647 (2013), IF=1,760
W tej pracy wykonałem analizy FFT oraz uczestniczyłem w dyskusji wyników i redagowaniu treści publikacji.
Mój wkład określam na 25%.
- B2 M. Borowiec, **A. Rysak**, D.H. Betts, C.R. Bowen, H.A. Kim, G. Litak, „*Complex response of the bistable laminated plate: Multiscale entropy analysis*”, *European Physical Journal Plus* **129**, 211 (2014), IF=1,377
W tej pracy wykonałem niektóre obliczenia FFT i kompozytowej entropii wieloskalowej oraz uczestniczyłem w redagowaniu treści publikacji.
Mój wkład określam na 20%.
- B3 A. Syta, C.R. Bowen, H.A. Kim, **A. Rysak**, G. Litak, „*Experimental analysis of the dynamical response of energy harvesting devices based on bistable laminated plates*”, *Meccanica* **50** (8), 1961-1970 (2015), IF=1,828
W tej pracy wykonałem analizy FFT oraz uczestniczyłem w dyskusji wniosków.
Mój wkład określam na 15%.
- B4 A. Syta, C.R. Bowen, H.A. Kim, **A. Rysak**, G. Litak, „*Responses of bistable piezoelectric-composite energy harvester by means of recurrences*”, *Mechanical Systems and Signal Processing* **76-77**, 823-832 (2016), IF=2,771
W tej pracy brałem udział w dyskusji wyników i redagowaniu treści publikacji.
Mój wkład określam na 15%.
- B5 G. Koszalka, J. Hunicz, **A. Rysak**, G. Litak, „*Nonlinear vibration of semi-trailer*

suspension: wavelet and multiscale entropy - based approaches", *Archive of Applied Mechanics* **86**, 761-768 (2016), IF=1,103

W tej pracy wykonałem obliczenia transmisji widm drgań, współczynników falkowych i entropii wieloskalowej. Brałem udział w interpretacji wyników i redagowaniu publikacji.

Mój wkład określam na 50%.

B6 J. Hunicz, M. Gęca, **A. Rysak**, G. Litak, P. Kordos, „*Combustion timing variability in a light boosted controlled auto-ignition engine with direct fuel injection*”, *Journal of Vibroengineering* **15** (3), 1093-1101 (2013), IF=0,660

W tej pracy wykonałem analizy rekurencyjne oraz uczestniczyłem w interpretacji wyników i redagowaniu treści publikacji.

Mój wkład określam na 50%.

B7 M. Borowiec, G. Litak, **A. Rysak**, P.D. Mitcheson, T.T. Toh, „*Dynamic response of a pendulum-driven energy harvester in the presence of noise*”, *Journal of Physics: Conference Series* **476** (1), 012038 (2013)

W tej pracy uczestniczyłem w opracowaniu modelu matematycznego badanego układu.

Mój wkład do tej pracy określam na 20%.

B8 **A. Rysak**, M. Müller, M. Borowiec, J. Zubrzycki, G. Litak, „*Energy harvesting in a beam system with impacts: experimental studies*”, *Proc.of DSTA 2013, Łódź, "Dynamical Systems Applications"*, Editors: J. Awrejcewicz, M. Kaźmierczak, P. Olejnik, J. Mrozowski, 507-512, (2013)

W tej pracy przeprowadziłem badania eksperymentalne układu drgającego z uderzeniami. Brałem również udział w analizie danych i interpretacji wyników.

Mój wkład do tej pracy określam na 40%.

B9 **A. Rysak**, M. Müller, M. Borowiec, J. Zubrzycki, G. Litak, A. Godlewska-Lech, V. Wittstock, „*Broadband concept of energy harvesting in beam vibrating systems for powering sensors*”, *Advances in Science and Technology Research Journal* **8** (23), 62-67 (2014)

W tej pracy wykonałem badania eksperymentalne, opracowywałem wyniki pomiarów i brałem udział w redagowaniu treści publikacji.

Mój wkład do tej pracy określam na 50%.

B10 G. Litak, D. Toma, C. Vinolo, A. Manuel, **A. Rysak**, J. del Rio, „*Energy harvesting in a pendulum system with impacts*”, *Proc. of DSTA 2013, Łódź, "Dynamical Systems - Applications"*, Editors: J. Awrejcewicz, M. Kaźmierczak, P. Olejnik, J. Mrozowski, 105-110, (2013)

W tej pracy uczestniczyłem w przygotowaniu modelu matematycznego analizowanego układu, badaniach numerycznych oraz analizie i interpretacji wyników.

Mój wkład do tej pracy określam na 35%.

- B11 G. Litak, **A. Rysak**, M. Borowiec, M. Scheffler, J. Gier, „*Vertical beam modal response in a broadband energy harvester*”, Proc. IMechE Part K: Journal of Multi-body Dynamics, doi: 10.1177/1464419316633565 (2016), IF=0,690

W tej pracy współuczestniczyłem w pomiarach doświadczalnych i analizach modalnych badanego układu, a także wykonałem obliczenia FFT.

Mój wkład do tej pracy określam na 20%.

- B12 **A. Rysak**, M. Scheffler, J. Gier, M. Borowiec, G. Litak, „*Energy Harvesting in a beam system with an additional moving mass*”, Proc. of DSTA 2013, Łódź, "Dynamical Systems - Applications", Editors: J. Awrejcewicz, M. Kaźmierczak, P. Olejnik, J. Mrozowski, 741-750, (2013), IF=1,000

W tej pracy brałem udział w pomiarach, wykonałem obliczenia FFT, współuczestniczyłem w analizach modów drgań badanego układu oraz redagowaniu treści artykułu.

Mój wkład do tej pracy określam na 50%.

- B13 G. Litak, R. Rusinek, K. Kecik, **A. Rysak**, A. Syta, „*Dynamics of composite milling: application of recurrence plots to Huang experimental modes*”, Discontinuity and Complexity in Nonlinear Physical Systems, Editors: J.A. Tenreiro Machado, D. Baleanu, Albert C.J. Luo. Dordrecht: Springer 2013, v. 20, 359-367

W tej pracy brałem udział w analizach rekurencyjnych oraz zajmowałem się opracowaniem i interpretacją niektórych wyników.

Mój wkład do tej pracy określam na 30%.

Pracując jako starszy wykładowca na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej brałem jednocześnie aktywny udział w różnych projektach finansowanych z NCN oraz współpracach nawiązywanych z naukowcami krajowymi i zagranicznymi. Moje badania miały zróżnicowany charakter zarówno pod względem tematyki, jak i narzędzi którymi się posługiwałem. Badałem układy z wbudowanymi lub dołączonymi elementami wykonanymi z tzw. materiałów inteligentnych (SMA, piezoelektryki, magnetostrykcyjne) oraz bistabilnych (laminaty). Projektowałem i nadzorowałem wykonanie urządzeń hybrydowych, w których mechaniczne układy drgające były sprzężone z podukładami wykorzystującymi różne pola fizyczne (magnetyczne, elektryczne, elektrostatyczne) oraz efekty (piezoelektryczny, Villariego) z dodatkowymi oddziaływaniami nieliniowymi wprowadzanymi przez ograniczniki mechaniczne lub

magnetyczne oraz luz w mocowaniu mas obciążających drgające belki. Wykonywałem pomiary badanych układów wykorzystując zbudowane przez siebie stanowiska pomiarowe oraz przygotowane oprogramowanie (C++). Analizowałem dane otrzymane z eksperymentów stosując znane techniki i metody (FFT, entropia, rekurencje, korelacje, EMD i inne) oraz własne techniki i algorytmy. Przygotowywałem modele analityczne badanych układów mechanicznych sprzężonych z podukładami różnych pól fizycznych oraz z efektami nieliniowymi. Wykonywałem symulacje numeryczne tych modeli (Matlab, Simulink, Scilab).

Jednym z pierwszych zagadnień, którymi się zajmowałem były badania tzw. inteligentnych materiałów i struktur. Zaliczam do nich badania dynamiki nieliniowej stopów z pamięcią kształtu [B1] oraz płyt bistabilnych [B2 - B4]. W badaniach układów mechanicznych z płytami bistabilnymi stosowane były różne metody numeryczne, takie jak entropia wieloskalowa [B2] oraz analiza rekurencyjna [B4]. Badane elementy bistabilne były zintegrowane z elementami piezoelektrycznymi, dlatego ważną część tych badań stanowiła analiza odpowiedzi elektrycznej układu, rejestrowanej w różnych modach jego drgań.

Jeden z kierunków mojej aktywności związany był z badaniami pojazdów mechanicznych. Brałem udział w badaniach przenoszenia drgań przez zawieszenie naczepy niskopodwoziowej [B5]. W ramach tych badań przeanalizowane zostały dane zmierzone w różnych warunkach eksploatacji naczepy. Zmianom ulegały: powierzchnia jezdni, obciążenie oraz prędkość naczepy. Transmisja drgań przez układ zawieszenia została przetestowana przy zastosowaniu metody FFT, analizy falkowej oraz entropii wieloskalowej. Wyniki tej ostatniej wyraźnie pokazały, że efektywność tłumienia drgań przez układ zawieszenia jest większa w przypadku przyczepy obciążonej. Inny temat badań pojazdów dotyczył analizy pracy silnika ze sterowanym samozapłonem i wtryskiem bezpośrednim [B6]. Głównym jego celem było zbadanie stabilności zapłonu silnika z cyklu na cykl jego pracy. Wykonane wykresy rekurencyjne wykazały, że w procesie spalania wraz ze wzrostem ciśnienia zapłonu wzrasta intermitencja.

Znaczna część badanych przeze mnie układów stanowiły urządzenia do pozyskiwania energii z drgań mechanicznych. Praca [B7] przedstawia wyniki modelowania układu wahadła sprzężonego z elektrycznym silnikiem DC, pobudzanego przez wolnozmiennie wymuszenie szumowe. Była to symulacja rzeczywistego eksperymentu, w którym urządzenie było zamontowane na łodzi pobudzonej kołysaniem fal. W ramach tych badań opracowałem algorytm generowania pobudzania o charakterystyce zbliżonej do rzeczywistego oraz wykonywałem symulacje, testując

różne konfiguracje równań modelujących. Kolejne dwie prace opisują wyniki badań eksperymentalnych układu belki z przyklejoną cienką warstwą piezoelektryczną. W obu przypadkach głównym celem było sprawdzenie wpływu uderzeń na szerokość krzywej rezonansowej oraz efektywność pozyskiwania energii. W pracy [B8] uderzenia wprowadzone zostały przez zbliżenie zewnętrznego ogranicznika (związanego z nieruchomą podstawą). Z kolei w pracy [B9] ogranicznik był związany z pobudzonym układem. W pracy [B10] opisane zostały wyniki modelowania układu wahadła, w którym zderzenia następowały z dwoma ogranicznikami znajdującymi się po obu jego stronach. Do ograniczników zostały doklejone warstwy piezoelektryczne. Badania układów pozyskujących energię z drgań często dotyczą niewielkich modyfikacji układu, które mają znaczący wpływ na jego dynamikę i efektywność. Taka właśnie niewielka modyfikacja jest tematem badań eksperymentalnych zaprezentowanych w pracach [B11, B12]. W tym przypadku badany układ stanowi laminowana belka z warstwą piezoelektryczną i masą końcową. Modyfikacją jest luz na mocowaniu masy końcowej. W pracy porównane zostały wyniki pomiarów napięć oraz analizy modalnej układu z masą końcową zamocowaną sztywno i z luzem.

Ostatnia praca [B13] opisuje wyniki badań dynamiki frezowania kompozytu. Analizowane były składowe siły zmierzone na głowicy frezującej. Badane szeregi czasowe zostały rozłożone na mody eksperymentalne. Wykonano analizę rekurencyjną, w ramach której dla poszczególnych modów wyznaczono diagramy rekurencyjne i zbadano zależności $RR(\epsilon)$.

A. Rysor