

Załącznik 2a

Autoreferat

**dr inż. Marcin Zych**

Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Kraków 2019

## Spis treści

<b>I.</b>	<b>Życiorys naukowy</b> .....	3
<b>II.</b>	<b>Wskazanie osiągnięcia naukowego</b> .....	4
	<b>II.1.</b> Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania .....	6
	<b>II.2.</b> Opis osiągnięcia naukowego .....	7
<b>III.</b>	<b>Przebieg kariery i omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych</b> .....	17
	<b>III.1.</b> Przed doktoratem .....	17
	<b>III.2.</b> Po doktoracie .....	19
	<b>III.3.</b> Współpraca z instytucjami lub organizacjami .....	22
	<b>III.4.</b> Zestawienia bibliometryczne .....	23
	<b>Bibliografia</b> .....	24

## I. Życiorys naukowy

### 1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Marcin Zych

ORCID: 0000-0001-6374-9498

Researcher ID: T-5787-2017

Scopus: 8324884300

PBN: 900529

Research Gate: [www.researchgate.net/profile/Marcin\\_Zych2](http://www.researchgate.net/profile/Marcin_Zych2)

### 2. Wykształcenie

1995 – Świadectwo dojrzałości oraz uzyskanie tytułu zawodowego **technik mechanik** o specjalności: budowa i eksploatacja maszyn i urządzeń mechanicznych. Technikum Mechaniczne Zespołu Szkół Mechanicznych im. Stanisława Staszica w Krośnie.

2000 – **Magister inżynier fizyki technicznej**, specjalność: fizyka jądrowa. Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. Praca dyplomowa pt: *Microgap z rezystorowym, jednowymiarowym systemem odczytu* (opiekun pracy dyplomowej: prof. dr hab. Kazimierz Jeleń).

2007 – **Doktor nauk fizycznych**, w dyscyplinie: fizyka. Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. Rozprawa doktorska pt.: *Wykorzystanie metod jądrowych w badaniach transportu hydraulicznego fazy stałej w rurociągu pionowym* (promotor w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. Edward Chruściel).

2009 – ukończenie studiów podyplomowych przygotowania pedagogicznego na Wydziale Humanistycznym Akademii Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

### 3. Zatrudnienie i doświadczenie zawodowe

2000 – 2006 – studia doktoranckie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

od 2010 – zatrudnienie na stanowisku adiunkta w Katedrze Geofizyki, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

### 4. Staże

2012 kwiecień – wyjazd studyjny na otwór wiertniczy Dukla I, celem poszerzenia wiedzy z zakresu wykonywania profilowań geofizycznych otworów wiertniczych

sondami radiometrycznymi. Wyjazd sfinansowany w ramach badań statutowych Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH.

2012 lipiec – odbycie miesięcznego stażu w przedsiębiorstwie Geofizyka Kraków S. A. Celem stażu było poszerzenie wiedzy z zakresu budowy otworowych sond geofizycznych, ich kalibracji, techniki pomiarowej oraz interpretacji profilowań geofizyki otworowej.

2014 listopad – wyjazd studyjny do Instytutu Hydrodynamiki Czeskiej Akademii Nauk w Pradze. Celem wyjazdu było zapoznanie się ze stanowiskami pomiarowymi, technikami pomiarów wykorzystywanymi w instytucie, a także rozszerzenie współpracy naukowej w zakresie badań przepływów dwufazowych. Wyjazd sfinansowany w ramach tematu nr 13 badań statutowych Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH: *Metody statystyczne w analizie danych pomiarów radiometrycznych w geofizyce.*

## 5. Wyróżnienia i nagrody

2015 – nagroda indywidualna J.M. Rektora AGH II stopnia za osiągnięcia naukowe.

2016 – nagroda indywidualna J.M. Rektora AGH II stopnia za osiągnięcia naukowe.

2016 – wyróżnienie na konferencji Experimental Fluid Mechanics 2016 w Mariánské Lázně (Republika Czeska) dla najlepszej prezentacji dnia, tytuł referatu: *Evaluation of the structures size in the liquid-gas flow by gamma-ray absorption.*

2018 – nagroda indywidualna J.M. Rektora AGH I stopnia za osiągnięcia naukowe.

## II. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 ze zm.)

Tytuł osiągnięcia naukowego:

### **Analiza i interpretacja sygnałów w radiometrycznych pomiarach geofizycznych**

Cykl publikacji powiązanych tematycznie stanowiących osiągnięcie naukowe:

[ON1] **Zych M** (2018) An analysis and interpretation of the signals in gamma-absorption measurements of liquid-gas intermittent flow. *Acta Geophysica* **66**(6), str. 1435-1451. doi: 10.1007/s11600-018-0212-4

**Lista A czasopism MNiSW - 20 pkt., IF = 0.709 (2017), IF<sub>5</sub> = 1.009 (2017), udział habilitanta – 100%**

- [ON2] **Zych M**, Hanus R, Wilk B, Petryka L, Świsulski D (2018) Comparison of noise reduction methods in radiometric correlation measurements of two-phase liquid-gas flows. *Measurement: Journal of International Measurement Confederation* **129**, str. 288-295. doi: 10.1016/j.measurement.2018.07.035  
**Lista A czasopism MNiSW - 30 pkt., IF = 2.218 (2017), IF<sub>5</sub> = 2.312 (2017), udział habilitanta - 45%:** przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów, współpracowanie koncepcji artykułu, wybór metod filtracji, wykonanie części obliczeń, przygotowanie tekstu (ok. 85%) oraz rysunków i wykresów.
- [ON3] Hanus R, **Zych M**, Kusy M, Jaszczur M, Petryka L (2018) Identification of liquid-gas flow regime in a pipeline using gamma-ray absorption technique and computational intelligence methods. *Flow Measurement and Instrumentation* **60**, str. 17-23. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2018.02.008  
**Lista A czasopism MNiSW - 25 pkt., IF = 1.407 (2017), IF<sub>5</sub> = 1.522 (2017), udział habilitanta - 30%:** przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów, wybór pomiarów reprezentatywnych i ich analiza, współpracowanie koncepcji artykułu, wykonanie części rysunków, współredakcja tekstu.
- [ON4] **Zych M**, Hanus R, Vlasák P, Jaszczur M, Petryka L (2017) Radiometric methods in the measurement of particle-laden flows. *Powder Technology* **318**, str. 491-500. doi: 10.1016/j.powtec.2017.06.019  
**Lista A czasopism MNiSW - 35 pkt., IF = 3.230, IF<sub>5</sub> = 3.331, udział habilitanta - 50%:** przygotowanie części radiometrycznej pomiarów (przygotowanie dokumentacji na zezwolenie od Państwowej Agencji Atomistyki na wykonanie pomiarów, przygotowanie sprzętu pomiarowego i koncepcji pomiarów), wykonanie pomiarów, opracowanie koncepcji artykułu, wykonanie obliczeń, rysunków i wykresów, przygotowanie tekstu (ok. 70%), tabel, dokonanie interpretacji fizycznej i statystycznej otrzymanych wyników.
- [ON5] Mosorov V, **Zych M**, Hanus R, Petryka L (2016) Modelling of dynamic experiments in MCNP5 environment. *Applied Radiation and Isotopes* **112**, str. 136-140. doi: 10.1016/j.apradiso.2016.03.029  
**Lista A czasopism MNiSW - 20 pkt., IF = 1.128, IF<sub>5</sub> = 1.156, udział habilitanta - 35%:** zaprojektowanie i wykonanie eksperymentów, współpracowanie koncepcji i współredakcja artykułu, przygotowanie rysunków i wykresów, wykonanie dodatkowych obliczeń potwierdzających model opracowany w środowisku obliczeniowym MCNP (Monte Carlo N-particle), współredakcja tekstu.
- [ON6] **Zych M**, Hanus R, Petryka L, Świsulski D, Strzępowicz A, Zych P (2015) Application of gamma densitometry and statistical signal analysis to gas phase velocity measurements in pipeline hydrotransport, in: *EPJ Web of Conferences* **92**, nr 02122, str. 02122-1–02122-6. doi: 10.1051/epjconf/20159202122  
**Artykuł pokonferencyjny indeksowany w Web of Science - 15 pkt., udział habilitanta - 40%:** przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów, opracowanie

koncepcji artykułu, wykonanie obliczeń i analizy niepewności, współredakcja tekstu, wykonanie rysunków i wykresów.

## **II.1. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania**

### **Wprowadzenie**

Radiometryczne pomiary wykorzystywane w geofizyce stosowanej są najczęściej oparte na rejestracji promieniowania gamma lub promieniowania neutronowego (Tittman 1986; Jarzyna i in. 1999). Tego typu metody znajdują zastosowanie zarówno przy profilowaniach otworów wiertniczych dla celów rozpoznania budowy geologicznej i prospekcyjnych, jak i przy późniejszym wydobyciu węglowodorów, wody oraz innych surowców.

Istnieją również inne metody badania zjawisk i właściwości fizycznych w geofizyce stosowanej, w tym w przepływach wielofazowych, wykorzystujące oddziaływania innych pól fizycznych np. magnetyczny rezonans jądrowy, tomografia elektryczna, metody optyczne (Heindela i in. 2008, Falcone i in. 2009, Banasiak i in. 2014, Jarzyna i in. 2016, Ameran i in. 2017, García i in. 2017).

Integralną częścią geofizycznych zestawów pomiarowych wykorzystywanych podczas tego typu pomiarów są czujniki (detektory) promieniowania, które rejestrują promieniowanie penetrujące badany ośrodek. Przy użyciu detektorów wraz z układami elektronicznymi dokonuje się konwersji docierającego do nich promieniowania na sygnał elektryczny. Otrzymany sygnał może być następnie poddawany przetwarzaniu i analizowaniu, za pomocą specjalistycznych metod matematycznych. Efektem są wyekstrahowane cechy, które w oparciu o krzywe kalibracji, mogą być powiązane z badanymi właściwościami lub zjawiskami fizycznymi (Knoll 2000, **Zych** i in. 2016, Jarzyna i in. 2017).

Postęp w zakresie budowy układów pomiarowych, jak i rozwój nowoczesnych metod matematycznych, umożliwia nie tylko zwiększenie dokładności pomiarów, ale również pozwala zwiększyć częstotliwość próbkowania i liczbę określanych parametrów fizycznych (**Zych** 2018 – [ON1]).

Równoległy rozwój metod obliczeniowych oraz mocy komputerów pozwala także na modelowanie badanych zjawisk, jak transportu promieniowania w ośrodkach skalnych, przepływów wielofazowych, czy też samych procesów pomiarowych. Takie podejście ma istotne przełożenie na zwiększenie możliwości badawczych oraz weryfikację nowych hipotez. Ze względu na duże koszty oraz ograniczenia aparatury badawczej, coraz częściej przeprowadza się symulacje komputerowe pozwalające na otrzymanie danych w przypadkach, które nie mogłyby być odtworzone eksperymentalnie. Jednak wymagane jest, aby zastosowany w symulacjach model matematyczny w sposób jak najbardziej wierny opisywał rzeczywiste procesy. Stąd niezbędne jest rozwijanie i weryfikacja/walidacja modeli poprzez porównanie z możliwymi do przeprowadzenia eksperymentami laboratoryjnymi (Drabina i in. 2001, Mosorov i in. 2016, Jarzyna i in. 2017, Roshani i in. 2017).

Większość moich prac skupia się na wykorzystaniu i rozwoju metody absorpcji promieniowania gamma oraz wykorzystania radioizotopów w pomiarach geofizycznych.

**Dlatego moim celem naukowym jest zdobycie na podstawie danych pomiarowych nowej wiedzy w zakresie nowych i modyfikacji istniejących metod analizy oraz interpretacji sygnałów z radiometrycznych układów pomiarowych w badaniach geofizyki stosowanej.**

## II.2. Opis osiągnięcia naukowego

### 1. Wyznaczanie średniej prędkości fazy rozproszonej w przepływach dwufazowych

Jednym z najważniejszych parametrów fizycznych wyznaczanych w pomiarach przepływów dwufazowych jest średnia prędkość przepływu fazy rozproszonej (np. w hydrotransportie cząstek ciała stałego lub przepływu gazu w mieszaninie ciecz-gaz).

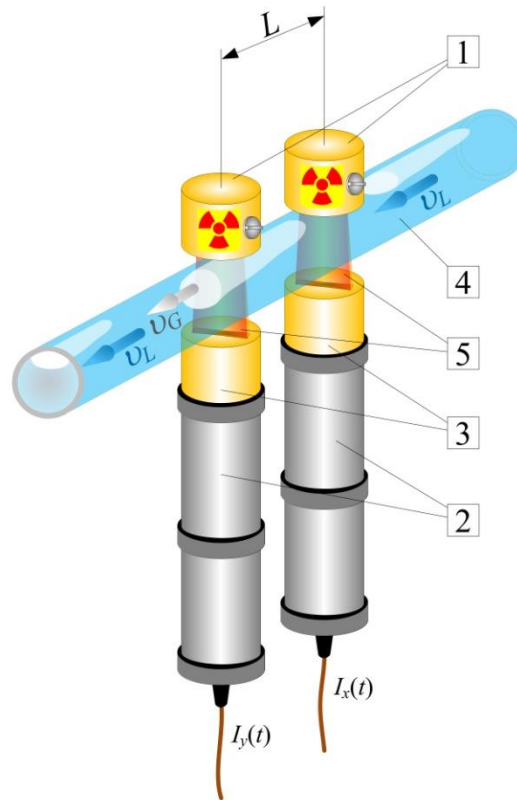
Biorąc pod uwagę konstrukcję, wykorzystywanego przeze mnie w badaniach zestawu radiometrycznego (Rys. 1), który składa się z dwóch detektorów scyntylicyjnych oraz dwóch źródeł promieniowania gamma, znajdujących się w znanej odległości  $L$ , można obliczyć średnią prędkość przepływu fazy rozproszonej  $v_G$  ze wzoru:

$$v_G = \frac{L}{\hat{\tau}_0} \quad (1)$$

gdzie:  $\hat{\tau}_0$  - estymator średniego czasu opóźnienia transportowego.

Obecnie istnieje wiele metod wyznaczenia średniego czasu opóźnienia transportowego (Benesty i in. 2007, Lee i in. 2007, Hanus 2015, Huang i in. 2015, Sun i in. 2016). Najstarszą i najbardziej znaną metodą jest wykorzystanie funkcji korelacji wzajemnej (CCF – cross-correlation function) (Beck i in. 1987, Xu i in. 1988).

Praca (Zych i in. 2015 - [ON6]) *Application of gamma densitometry and statistical signal analysis to gas phase velocity measurements in pipeline hydrotransport* składająca się na osiągnięcie naukowe, dotyczy porównania trzech wybranych przeze mnie metod wyznaczenia  $v_G$ . Są to metody: korelacji wzajemnej, dekonwolucji (DConv.) oraz fazowa (CSDF – cross spectral density function). Przy czym metoda CCF stanowi odniesienie dla pozostałych dwóch. Do analizy wykorzystałem sygnały pochodzące z pomiarów przepływów dwufazowych ciecz-gaz, które były realizowane na wybudowanej przez mnie w roku 2004 instalacji badawczej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH (Rys. 2). W roku 2011 wraz ze swoim zespołem przenieśliśmy instalację do Laboratorium Sedymentologicznego Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.



Rys. 1. Schemat zestawu radiometrycznego do badań przepływów dwufazowych ciecz-gaz metodą absorpcji promieniowania gamma: 1 – kolimatory ze źródłami Am-241, 2 – sondy scyntylacyjne, 3 – kolimatory sond, 4 – rurociąg z przepływającą mieszaniną, 5 – wiązka promieniowania gamma,  $L$  – odległość pomiędzy sondami,  $v_L$  – średnia prędkość przepływu cieczy,  $v_G$  – średnia prędkość przepływu gazu,  $I_x(t)$ ,  $I_y(t)$  – sygnały z sond pomiarowych (Zych 2018 – [ON1]).

Wybrane sygnały zostały zarejestrowane dla trzech podstawowych typów przepływów ciecz-gaz w rurociągu poziomym: tłokowego (BUB006), tłokowo-pęcherzykowego (BUB004) i pęcherzykowego (BUB001). Pozwoliło mi to na ocenę przydatności wybranych metod do pomiarów średniej prędkości  $v_G$  fazy gazowej w pomiarach radiometrycznych.

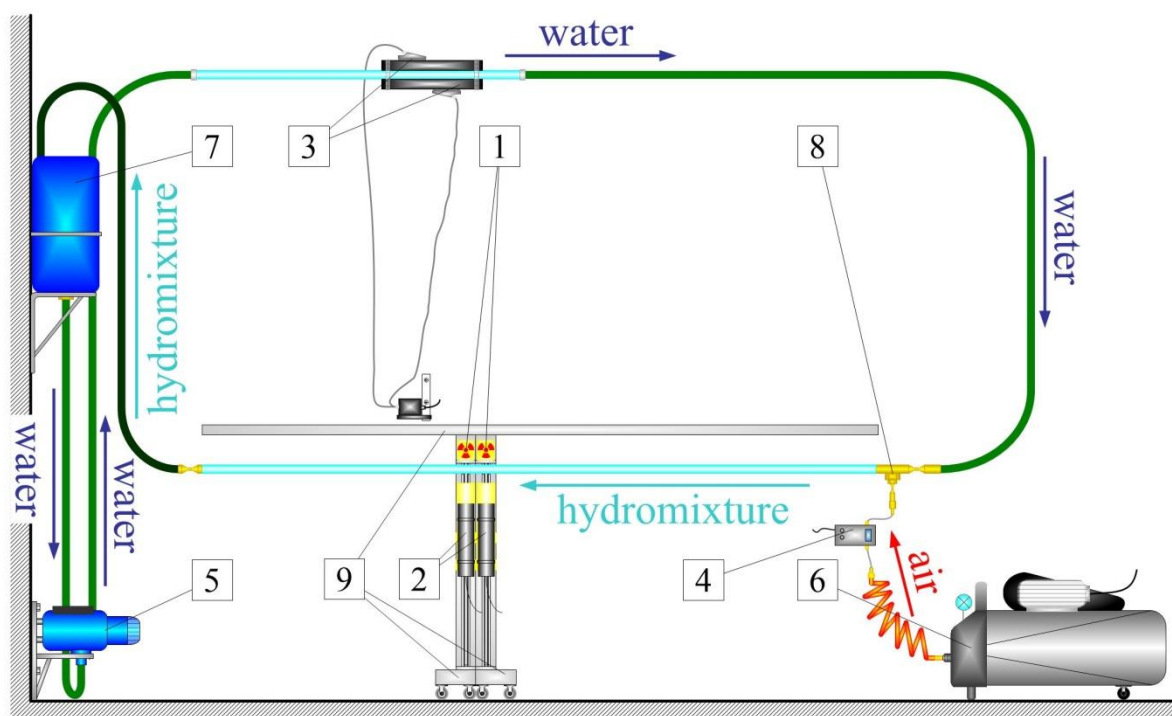
Metody CCF oraz dekonwolucji opierają się na przebiegu zmienności funkcji w dziedzinie czasu. Średni czas opóźnienia transportowego jest określany jako argument głównego maksimum funkcji CCF:

$$\hat{\tau}_0 = \arg\{\max R_{xy}(\tau)\} = \arg\{R_{xy}(\tau_0)\} \quad (2)$$

gdzie  $R_{xy}(\tau)$  jest przebiegiem funkcji CCF.

Z kolei metoda fazowa wykorzystuje charakterystykę fazową CSDF. Wówczas uwzględnia się prostoliniowy początkowy przebieg tej funkcji. Na podstawie kąta nachylenia dopasowanej prostej wylicza się średni czas opóźnienia transportowego.





Rys. 2. Schemat instalacji badawczej do badań przepływu ciecz-gaz: 1 – kolimatory ze źródłami Am-241, 2 – sondy scyntylacyjne z kryształami NaI(Tl), 3 – przepływomierz ultradźwiękowy, 4 – kontroler przepływu powietrza, 5 – pompa rotacyjna wymuszająca przepływ, 6 – kompresor, 7 – zbiornik wyrównawczy, 8 – dysza tłocząca powietrze do instalacji, 9 – system przesuwu zestawu radiometrycznego (Zych i in. 2018).

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdziłem, że najbardziej uniwersalną metodą wyznaczania średniej prędkości fazy gazowej jest metoda korelacji wzajemnej. Jednak przy sygnałach, gdzie stosunek sygnału do szumu (SNR) jest duży, bardziej precyzyjne wyniki można otrzymać za pomocą metody CSDF. Tabela 1 przedstawia otrzymane wartości średnich prędkości  $v_G$  fazy gazowej (rozproszonej) oraz niepewności  $u_C(v_G)$ , oszacowane na podstawie prawa propagacji niepewności (Guide 1995).

Tabela 1. Średnie prędkości  $v_G$  fazy gazowej (rozproszonej) oraz niepewności  $u_C(v_G)$  [ON6]

Eksperyment Metoda	BUB006		BUB004		BUB001	
	$v_G$ (m/s)	$u_C(v_G)$ (m/s)	$v_G$ (m/s)	$u_C(v_G)$ (m/s)	$v_G$ (m/s)	$u_C(v_G)$ (m/s)
CCF	0.710	0.011	1.066	0.017	1.463	0.032
DConv.	0.711	0.011	1.069	0.013	1.536	0.025
CSDF	0.710	0.002	1.060	0.003	1.460	0.031

Moje zainteresowania metodami wyznaczania czasów opóźnień transportowych w radiometrycznych pomiarach przepływów dwufazowych są szersze. Współpraca, od roku 2007, z dr hab. inż. Robertem Hanusem z Politechniki Rzeszowskiej pozwoliła na zastosowanie jeszcze innych metod w opisanym zagadnieniu, takich jak: różnicowe, złożone, z warunkowym uśrednianiem, CCF z transformatą Hilberta (Hanus, **Zych** i in. 2012, Hanus, **Zych** i in. 2014, Hanus, **Zych** i in. 2014a, Hanus 2015).

Znaczenie naukowe publikacji polega na zastosowaniu trzech wybranych metod wyznaczania prędkości fazy gazowej w pomiarach radiometrycznych oraz ocenie ich dokładności, w zależności od typu analizowanego przepływu.

Przedstawione przeze mnie metody mogą znaleźć również zastosowanie do wyznaczania prędkości fal sejsmicznych (Roux i in. 2005, Wapenaar i in. 2011).

## 2. Redukcja szumów w pomiarach radiometrycznych

Z poprzednio zaprezentowanym artykułem łączy się istotne zagadnienie redukcji szumów. Problem ten przedstawiłem w pracy (**Zych** i in. 2018 - [ON2]): *Comparison of noise reduction methods in radiometric correlation measurements of two-phase liquid-gas*.

Sygnaly dostarczane przez radiometryczne układy pomiarowe charakteryzują się często niekorzystnym stosunkiem sygnału do szumu. Jest to związane z szeregiem zjawisk fizycznych, do których należy zaliczyć: promieniowanie tła, fluktuacje związane z rozpadem promieniotwórczym, szum generowany przez elektroniczne układy przetwarzania sygnału oraz procesy związane z naturą mierzonego zjawiska (Knoll 2000, Tudyka i in. 2016). Dlatego do analizy niezbędne jest stosowanie metod pozwalających na redukcję wpływu szumów.

We wspomnianym artykule porównałem cztery metody redukcji szumów w pomiarach radiometrycznych, pod kątem ich przydatności do wyznaczania prędkości w przepływie ciec-gaz:

- a) klasyczną – opierającą się na filtracji za pomocą cyfrowego filtra środkowo przepustowego Butterwortha (IIR). Wyniki tej metody były jednocześnie odniesieniem dla pozostałych rozważanych rozwiązań,
- b) filtrację widma sygnału – autorska modyfikacja filtracji CCF. Metoda polega na obliczeniu modułu wzajemnej funkcji gęstości widmowej  $|CSDF|$ . Funkcja  $|CSDF|$  znacznie lepiej uwypukla częstotliwości charakterystyczne z pasma użytecznego od stosowanej zazwyczaj funkcji widmowej gęstości mocy (ASDF). W metodzie tej w przypadku zbyt dużego szumu można funkcję  $|CSDF|$  poddać wygładzaniu poprzez wykorzystanie średniej ruchomej. Taka metodologia pozwala ustalić zakres sygnału użytecznego. Na tej podstawie można określić częstotliwości odcięcia dla idealnego filtra cyfrowego środkowo przepustowego, który stosuje się dla filtracji CSDF. Przefiltrowaną funkcję CCF uzyskuje się następnie w efekcie zastosowania odwrotnego przekształcenia FFT dla  $|CSDF|$ ,

- c) wygładzanie CCF poprzez zastosowanie dyskretnej transformaty falkowej (DWT). W tym przypadku wykorzystano falkę Daubechies „db10” na piątym poziomie dekompozycji, ustalonym eksperymentalnie,
- d) wygładzanie CCF z wykorzystaniem estymatora jądrowego Nadaraya-Watsona (NWKE). Zaproponowane przeze mnie podejście jest nowością w zastosowaniu do pomiarów korelacyjnych. W tej metodzie stosuje się okno wygładzania, którego szerokość może być określona doświadczalnie lub metodą walidacji krzyżowej. Jednak najbardziej wiarygodne wyniki otrzymałem poprzez doświadczalny dobór szerokości okna.

Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły mi na jednoznaczne stwierdzenie, że zaproponowane metody w porównaniu do klasycznego podejścia dają zbliżone wartości średniego czasu opóźnienia transportowego dla fazy gazowej. Ich zastosowanie pozwala jednak zwiększyć dokładność pomiaru. Otrzymane wyniki ilustruje Tabela 2, gdzie  $\hat{\tau}_0$  - estymator średniego czasu opóźnienia transportowego,  $u_A(\hat{\tau}_0)$  - niepewność oszacowania  $\hat{\tau}_0$ ,  $u_{Ar}(\hat{\tau}_0)$  - względna procentowa niepewność oszacowania  $\hat{\tau}_0$ .

Oceeniłem także niezbędną liczbę wykonywanych operacji przy obliczeniach, co doprowadziło mnie do wniosku, że najefektywniejszą metodą jest wygładzanie NWKE.

Zaprezentowane podejście jest bardzo istotne biorąc pod uwagę fakt, że w tego typu pomiarach udział szumu w sygnale jest duży. Takim przypadkiem są pomiary przepływu mieszaniny sedymentującej ciecz-cząstki ciała stałego w kanale otwartym. Tego typu pomiary zostały przeze mnie przeprowadzone w Laboratorium Sedymentologicznym Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, a wyniki analiz opublikowałem w pracach: **Zych** i in. 2014, **Zych** i in. 2015a.

Tabela 2. Wartości estymatora średniego czasu opóźnienia transportowego fazy gazowej wraz z niepewnościami [ON2]

Eksperyment Metoda redukcji szumu	BUB006			BUB004			BUB001		
	$\hat{\tau}_0$ (ms)	$u_A(\hat{\tau}_0)$ (ms)	$u_{Ar}(\hat{\tau}_0)$ (%)	$\hat{\tau}_0$ (ms)	$u_A(\hat{\tau}_0)$ (ms)	$u_{Ar}(\hat{\tau}_0)$ (%)	$\hat{\tau}_0$ (ms)	$u_A(\hat{\tau}_0)$ (ms)	$u_{Ar}(\hat{\tau}_0)$ (%)
Filtr <i>IIR</i>	137.0	2.4	1.8	91.2	1.8	2.0	67.0	1.6	2.4
<i>/CSDF/s</i>	136.6	2.1	1.5	91.0	1.5	1.7	66.3	1.4	2.1
<i>DWT</i>	136.2	1.8	1.3	90.7	1.3	1.4	66.3	1.1	1.7
<i>NWKE</i>	136.7	1.9	1.4	90.7	1.4	1.5	66.3	1.3	2.0

Zaproponowane metody filtracji, zwłaszcza wygładzania za pomocą DWT oraz NWKE mogą znaleźć zastosowanie także w spektrometrycznych pomiarach koncentracji potasu, uranu oraz toru w próbkach z rdzeni wiertniczych. Pomocne mogą być przy kalibracji toru pomiarowego, kiedy niezbędne jest precyzyjne powiązanie energii promieniowania gamma wzorcowych źródeł promieniowania z kanałami spektrometru. Analizę wykorzystania metod redukcji szumu w spektrometrycznych pomiarach promieniowania gamma zawarłem w pracach: **Zych** i in. 2015b, **Zych** i in. w monografii Jarzyna red. 2017, **Zych** 2017.

### 3. Rozpoznawanie typu przepływu dwufazowego ciecz-gaz

W zależności od parametrów przepływu dwufazowego ciecz-gaz, m.in. takich jak: prędkość przepływu poszczególnych faz, czy udział faz w mieszaninie, w przepływie mogą występować różne struktury. We wspomnianej, przeze mnie w punkcie pierwszym tego rozdziału instalacji badawczej (Rys. 2.), istnieje możliwość symulacji następujących typów przepływu: warstwowy (falowy), rzutowy, tłokowy i pęcherzykowy (Dziubiński i in. 2009, García i in. 2017).

Pomiary umożliwiające rozpoznawanie typu przepływu są niezwykle istotne w wielu dziedzinach przemysłu, w tym w przemyśle wydobywczym i petrochemicznym (Johansen i in. 2004, Roshani i in. 2017).

W trakcie swoich wcześniejszych badań zauważyłem ze współpracownikami z zespołu, że szereg cech sygnału z radiometrycznego układu pomiarowego zmienia się w zależności od typu przepływu, co przedstawiono w pracach: **Zych** i in. 2014a, Hanus, **Zych** i in. 2016, Hanus, **Zych** i in. 2016a, **Zych** i in. 2018a.

Zagadnienie rozpoznawania typów przepływów ciecz-gaz w rurociągu poziomym przedstawiłem w pracy (Hanus, **Zych** i in. 2018 - [ON3]): *Identification of liquid-gas flow regime in a pipeline using gamma-ray absorption technique and computational intelligence methods.*

W przeciwieństwie do innych zespołów zajmujących się wykorzystywaniem absorpcji promieniowania gamma w badaniach przepływów wielofazowych, pomiary wykonywane przeze mnie są dynamiczne, a nie statyczne, jak np. prowadzone w zespołach Roshanego (2017a), czy Salgado (2010). Różnica występuje również w konstrukcji układu pomiarowego. Zespół, którego jestem członkiem, wykorzystuje układ zliczający fotony gamma w całym zakresie dostępnego widma, podczas gdy inne zespoły na świecie stosują spektrometryczny tor pomiarowy (Salgado i in. 2010, Roshani i in. 2017b).

W toku analiz i obliczeń wyróżniłem następujące cechy statystyczne otrzymanych sygnałów: wartość średnia zliczeń kwantów gamma, odchylenie standardowe, średnia kwadratowa (RMS), znormalizowana funkcja autokorelacji, współczynnik skośności, kurtoza, trzeci i czwarty moment centralny, które powiązано ze strukturami przepływu dwufazowego ciecz-gaz.

Do rozpoznawania typu przepływu wykorzystałem dla porównania sześć popularnych metod (klasyfikatorów): probabilistyczne sieci neuronowe (PNN), perceptron wielowarstwowy (MLP), sieć radialną (RBF), metodę wektorów nośnych (SVM), drzewa decyzyjne (SDT) oraz K – najbliższych sąsiadów (K-means). Analizy zespół przeprowadził w środowisku obliczeniowym DTREG. Do oceny wydajności rozpoznawania wzorców wybrałem wskaźniki statystyczne takie jak: dokładność (Acc – accuracy), czułość (Sen – sensitivity) oraz swoistość (Spe – specificity). Wyniki przedstawia Tabela 3, gdzie: klasa 1 oznacza przepływ rzutowy, klasa 2 – przepływ tłokowy, klasa 3 – przepływ tłokowo – pęcherzykowy, klasa 4 – przepływ pęcherzykowy.

Tabela 3. Miary jakości rozpoznawania wzorca (struktur przepływu) przez wybrane klasyfikatory [ON3]

	Klasa 1			Klasa 2			Klasa 3			Klasa 4		
	Acc	Sen	Spe	Acc	Sen	Spe	Acc	Sen	Spe	Acc	Sen	Spe
PNN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MLP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RBF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SVM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SDT	0.992	0.966	1	0.986	0.979	0.989	0.989	0.979	0.993	0.995	1	0.993
K-means	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Na podstawie danych przytoczonych w Tabeli 3 mogłem stwierdzić, że najmniej wydajną metodą do rozpoznawania struktur przepływów jest metoda SDT. Natomiast pozostałe klasyfikatory dają prawidłowe rozpoznanie typu przepływu w 100%.

W artykule pokazałem, że wyodrębnione cechy statystyczne sygnałów mogą posłużyć jako predyktory dla metod tzw. inteligencji obliczeniowej, przy rozpoznawaniu struktur przepływów. Ważnym osiągnięciem jest także ocena jakości rozpoznawania wzorca przez wybrane klasyfikatory.

Przedstawione metody mogą być wykorzystane również w innych aplikacjach, takich jak szacowanie udziału poszczególnych faz w przepływie trójfazowym (np. wydobywanie ropy naftowej i gazu ziemnego za pomocą platform morskich) (Roshani i in. 2017b).

Metody sztucznej inteligencji zastosowałem także do rozpoznawania formacji geologicznych oraz do szukania zależności pomiędzy wielkościami petrofizycznymi, uzyskanymi z pomiarów geofizycznych (Zych i in. w monografii pod red. Jarzyna 2017, Zych i in. 2019).

#### 4. Zastosowanie analizy sygnału do określenia wielkości struktur w intermitentnym przepływie dwufazowym ciec-z-gaz

Pogłębiona analiza sygnałów z pomiarowego układu radiometrycznego pozwoliły mi na wyodrębnienie takich cech sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości, które mogłem powiązać bezpośrednio z wielkościami fizycznymi przepływu.

Tego typu możliwości zostały przeze mnie przedstawione w artykułach: **Zych** i in. 2014a, **Zych** i in. 2016, **Zych** i in. 2018b.

Natomiast szczegółowy opis badań zawarłem w artykule (**Zych** 2018 - [ON1]): *An analysis and interpretation of the signals in gamma-absorption measurements of liquid-gas intermittent flow*.

Analiza sygnałów w dziedzinie czasu pozwoliła mi na oszacowanie średniej głębokości i długości struktur gazowych wraz z ich niepewnościami pomiarowymi.

Wprowadziłem bezwymiarowe współczynniki głębokości struktur:  $\zeta_l$  – współczynnik średniej głębokości dużych struktur gazowych do średniej głębokości dużych pęcherzy,  $\zeta_s$  – współczynnik średniej głębokości małych struktur gazowych do średniej głębokości dużych pęcherzy gazowych.

Po zbadaniu 50 fragmentów wybranych sygnałów, oszacowano chwilowe i średnie długości struktur. Odnosząc otrzymane wartości do charakterystycznych częstotliwości w widmie |CSDF|, zinterpretowałem je jako związane bezpośrednio z przepływem struktur gazowych. Dla lepszego opisu przepływów wprowadziłem średni współczynnik wypełnienia sygnału  $\zeta$ , który w dziedzinie czasu jest powiązany ze średnią czasową długością dużego pęcherza gazowego do średniej czasowej długości dużej struktury gazowej. W dziedzinie częstotliwości jest to stosunek częstotliwości charakterystycznych.

Ponadto dla przepływów tłokowych zaobserwowałem istnienie superstruktur gazowych, których długość jest związana z częstotliwością charakterystyczną  $f_0$ , będącą poza zakresem sygnału użytecznego, określonego przeze mnie na podstawie analizy widma |CSDF|.

W zaprezentowanych badaniach pokazałem, że wykorzystując układ składający się z dwóch sond scyntylacyjnych można (w przypadku rurociągów o małych średnicach poniżej 50 mm) otrzymać znaczącą liczbę wielkości fizycznych, które mogą być zastosowane do rekonstrukcji przepływów, podobnie jak w przypadku metod tomograficznych (Banasiak i in. 2014).

## **5. Porównanie pomiarów radioznacznikowych i absorpcji promieniowania gamma w przepływie dwufazowym ciecz – cząstki ciała stałego**

Równoczesne przeprowadzenie eksperymentów radioznacznikowych i absorpcji promieniowania gamma w przepływającej mieszaninie dwufazowej opisałem w artykule (**Zych** i in. 2017 - [ON4]): *Radiometric methods in the measurement of particle-laden flows*. Pomiary wykonałem w Laboratorium Wodnym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (kierownik: prof. dr hab. inż. Jerzy Sobota) w ramach projektu: Flow of concentrated and complex slurries in closed conduits – nr P105/10/1574 GA ČR (kierownik projektu: Prof. ing. Pavel Vlasák).

Projekt dotyczył symulacji procesu hydrotransportu konkrecji polimetalicznych z dna Oceanu Spokojnego. Uwzględniając kruchość rzeczywistych konkrecji w eksperymentach wykorzystano modele ceramiczne o gęstości zbliżonej do gęstości konkrecji mokrych.

Pomiary absorpcji promieniowania gamma umożliwiły mi wyznaczenie średniej prędkości przepływu całej populacji ziaren w danym przekroju oraz na założonym odcinku pomiarowym  $L_A = 90$  mm. Z kolei eksperyment radioznacznikowy polegał na znakowaniu za pomocą izotopu Tc-99m wybranych ziaren (o różnych średnicach) oraz pomiaru ich średniej prędkości na odcinku pomiarowym o długości  $L_T = 1882$  mm.

Ze względu na różne bazy pomiarowe do porównania wyników otrzymanych obydwoma metodami niezbędne było wprowadzenie przeze mnie nowej wielkości, będącej odwrotnością prędkości. Biorąc pod uwagę, że podobną wielkość wykorzystuje się w otworowych profilowaniach akustycznych, nazwałem ją czasem interwałowym.

W rezultacie po odpowiednim przeskalowaniu otrzymałem przebiegi funkcji korelacji wzajemnej dla pomiarów absorpcyjnych oraz radioznacznikowych. Na podstawie analizy otrzymanych wykresów potwierdziłem hipotezę, że „pik” funkcji korelacji dla pomiarów absorpcyjnych (po centrowaniu sygnałów) reprezentuje wszystkie możliwe czasy opóźnienia przepływających ziaren. Interpretacji poddałem wartości dodatnie „piku” CCF. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdziłem, że większość czasów opóźnień przepływających ziaren zawiera się w przedziale  $\pm 1.5 \sigma$ , przy czym,  $\sigma$  zdefiniowałem jako szerokość połówkową „piku” korelacji wzajemnej (odchylenie standardowe dopasowanego do CCF rozkładu normalnego).

Dodatkowo, badania w dziedzinie czasu pozwoliły mi pokazać, jak kształtowała się średnia prędkość poszczególnych klas ziarnowych w stosunku do średniej prędkości całej populacji.

Ponadto wykonałem, na podstawie wcześniej przeprowadzonej kalibracji układu pomiarowego, oznaczenia bardzo istotnego parametru przepływu, którym jest objętościowa, przekrojowa koncentracja fazy stałej.

## **6. Symulacje sygnałów dla przepływu znaczonego izotopowo cząstek ciała stałego**

Wykorzystywanie źródeł promieniowania jonizującego rodzi szereg problemów zarówno natury prawnej (uzyskiwanie odpowiednich pozwoleń), metrologicznych, jak i ekonomicznych (koszty zakupu izotopów promieniotwórczych). Dlatego bardzo ważnym aspektem pomiarów radiometrycznych jest ich właściwe zaplanowanie.

Pomocnym staje się w takim przypadku wykorzystanie symulacji komputerowych, których wyniki umożliwiają a-priori skorygowanie i weryfikację wielu wcześniejszych założeń, np. dotyczących geometrii pomiarowej.

Z drugiej strony, przeprowadzone eksperymenty na stanowiskach laboratoryjnych ze względu na koszty nie pozwalają na przebadanie dużej liczby przypadków. Stąd dodatkowe

obliczenia w postaci symulacji mogą uzupełnić dane eksperymentalne (Roshani, **Zych** i in. 2018).

Do analizy transportu promieniowania w różnych ośrodkach (również geologicznych: Drabina i in. 2001, Jarzyna i in. 2017) wykorzystuje się znaną metodę Monte Carlo. Niezbędne do obliczeń są biblioteki zawierające dane dotyczące właściwości jądrowych pierwiastków, tj. np.: przekroje czynne na oddziaływanie promieniowania jonizującego z materią, czasy połowicznego rozpadu. Takie rozbudowane i ciągle doskonalone biblioteki posiada środowisko obliczeniowe MCNP (Monte Carlo N-Particle) opracowane w Los Alamos National Laboratory w USA.

Przepływ cieczech-cząstki ciała stałego jest zjawiskiem dynamicznym. Stąd zespół, którego jestem członkiem, postawił sobie zadanie zbudowania modelu matematycznego w środowisku obliczeniowym MCNP5 dla takiego przepływu oraz jego eksperymentalną weryfikację.

Zagadnienie to opisałem w artykule (Mosorov, **Zych** i in. 2016 - [ON5]): *Modelling of dynamic experiments in MCNP5 environment*.

W celu opracowania właściwego modelu matematycznego zaprojektowałem i zbudowałem stanowisko pomiarowe na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. Wzdłuż rurociągu ze stałą prędkością poruszało się źródło Ba-133. Jego ruch był rejestrowany za pomocą dwóch detektorów scyntylicyjnych i kamery.

Równoległe z pomiarami eksperymentalnymi wykonano symulacje komputerowe, przy założeniu dyskretyzacji czasowej związanej z położeniem źródła względem pierwszego i drugiego detektora. Wykorzystując uśrednienie pozycji źródła symulowano jego ruch względem detektorów.

Rezultatem przeprowadzonych eksperymentów było stworzenie dynamicznego modelu ruchu źródła promieniowania gamma (np. znaczonego ziarna w przepływie dwufazowym cieczech-cząstki ciała stałego). Wyznaczyłem także minimalną liczbę dyskretnych pozycji, niezbędną do symulacji ruchu tego źródła. Empirycznie ustaliłem, że liczba ta wynosi trzy.

## 7. Podsumowanie

Prace przedstawione jako osiągnięcie naukowe wskazują, że prowadzone przez mnie badania w zakresie analizy interpretacji sygnałów z radiometrycznych układów pomiarowych poszerzają wiedzę w geofizyki stosowanej.

Zaproponowana metodyka pozwala na zwiększenie precyzji i ilości uzyskiwanych informacji o badanym ośrodku (procesie fizycznym), poprzez zastosowanie nowych lub modyfikacje znanych metod matematycznych analizy sygnałów, jak też dodatkowe zastosowanie symulacji.

Doskonalone przeze mnie metody, w przypadku przepływów dwufazowych cieczech-gaz za pomocą absorpcji promieniowania gamma, dostarczają informacji o: średniej prędkości



przepływu fazy gazowej (rozproszonej), średnim współczynnikiem wypełnienia rurociągu fazą gazową, wielkości struktur gazowych, typie przepływu. Dokładna analiza sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości, pozwoliła mi na powiązanie charakterystycznych składowych harmonicznych w widmie |CSDF| z wielkościami struktur gazowych w przepływie.

Z kolei dla hydrotransportu cząstek ciała stałego przy wykorzystaniu absorpcji promieniowania gamma mogłem określić: średnią prędkość cząstek stałych i ich koncentrację objętościową przekrojową. Zastosowanie dodatkowo metody radioznaczkowej pozwoliło mi obliczyć średnią prędkość wybranych ziaren i średnią prędkość przepływu cieczy. Połączenie obu metod umożliwiło dokonanie deterministycznej i statystycznej interpretacji przebiegu funkcji korelacji wzajemnej.

Prowadzone przeze mnie badania doprowadziły do opracowania dynamicznego modelu matematycznego transportu znaczonego izotopowo cząstek ciała stałego w środowisku obliczeniowym MCNP5. Takie podejście zwiększa możliwości poznawcze uzyskane głównie poprzez symulacje komputerowe hydrotransportu w warunkach, które nie były możliwe do realizacji podczas badań laboratoryjnych. Wyniki takich obliczeń pozwalają również na optymalizację geometrii pomiarowej.

Ze względu na uniwersalność wykorzystywanych metod, mogłem je zastosować również w innych działach geofizyki stosowanej, np. do rozpoznawania formacji geologicznych na podstawie profilowań geofizyki otworowej (Zych i in. 2019).

Otrzymane wyniki wskazują na dalsze możliwości rozwoju przedstawionych przeze mnie metod i ich zastosowanie praktyczne.

### **III. Przebieg kariery i omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (uwzględniono osiągnięcia naukowo-badawcze zgodnie z kryteriami zawartymi w rozporządzeniu MNiSW z dnia 1.09.2011 – Dz.U. nr 196, poz. 1165, §3 i §4)**

#### **III.1. Przed doktoratem**

Po uzyskaniu tytułu magistra w 2000 roku, na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej AGH (praca dyplomowa: *Microgap z rezystorowym, jednowymiarowym systemem odczytu*), rozpocząłem studia doktoranckie na tym samym wydziale. Ze względu na swoje zainteresowania naukowe, tj. badanie przepływów wielofazowych, nawiązałem współpracę z dr inż. Leszkiem Petryką w Zakładzie Radioznaczników Przemysłowych WFiTJ AGH.

Początkowo moje prace były skupione na przebudowie instalacji badawczej do symulowania przepływów dwufazowych ciec-z-gaz oraz zaprojektowaniu i zbudowaniu pomocniczej konstrukcji do mocowania aparatury badawczej, a także optymalizacji geometrii pomiarowej.

Uzyskaną w ten sposób wiedzę zastosowałem do zaprojektowania i zbudowania aparatury wykorzystanej do badania przepływów mieszaniny sedymentującej w kanale otwartym przy współpracy z dr inż. Wojciechem Mastejem z Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.

W 2003 roku, w związku z uruchomieniem Pracowni Radioznaczników Przemysłowych w nowym pomieszczeniu, przygotowałem wniosek wraz z dokumentacją do Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) na pozwolenie uruchomienia pracowni typu Z. Wymagane dokumenty obejmowały plany rozmieszczenia urządzeń badawczych, dróg ewakuacji, planu awaryjnego, w tym obliczeń związanych z narażeniem pracowników oraz osób postronnych na promieniowanie jonizujące w trakcie prowadzonych badań.

W roku 2004 brałem udział jako wykonawca w projekcie badawczym KBN nr 5T12A01123, pt.: *Systemy i technologie wydobywania koncentracji z dna oceanów* (kierownik projektu prof. dr hab. inż. Jerzy Sobota – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu).

W ramach grantu zaprojektowałem i nadzorowałem wykonanie zestawów kolimatorów do eksperymentów z zastosowaniem absorpcji promieniowania gamma oraz radioznacznikowych. Następnie byłem odpowiedzialny za ustawienie zestawów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów w zespole kierowanym przez dr. inż. Leszka Petrykę na instalacji badawczej w Laboratorium Wodnym Uniwersytetu Przyrodniczego.

Moim zadaniem było również współuczestnictwo w analizie i interpretacji otrzymanych danych.

Ponadto na wykonanym przez siebie stanowisku kalibracyjnym w Laboratorium Sedymentologicznym WGGiOŚ AGH, wykonałem dodatkowe pomiary kalibracji zestawu radiometrycznego do wyznaczania koncentracji objętościowej przekrojowej cząstek ciała stałego. Otrzymane dane pozwoliły mi na przygotowanie dysertacji, pt.: *Wykorzystanie metod jądrowych w badaniach transportu hydraulicznego fazy stałej w rurociągu pionowym*, która została obroniona 10 lipca 2007 roku (promotor: dr hab. Edward Chruściel).

W trakcie studiów doktoranckich byłem współautorem pięciu publikacji:

- jednej w czasopiśmie z listy JCR (Petryka L, **Zych** M, Murzyn R, 2005. The non-stationary two-phase flow evaluation by radioisotopes. *Nukleonika* **50**(1): 43-46),
- trzech artykułów, które ukazały się w materiałach konferencji międzynarodowych, w tym jednej indeksowanej przez bazę Web of Science Core Collection,
- jednego artykułu, który ukazał się w materiałach konferencji krajowej: *Technika jądrowa w przemyśle, medycynie, rolnictwie i ochronie środowiska*.

Wygłosiłem także 1 referat na międzynarodowej konferencji: 2<sup>nd</sup> International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles: 12<sup>th</sup> International Symposium on Freight pipelines: September 20–24, 2004 Prague, Czech Republic oraz 1 referat na konferencji krajowej: Technika Jądrowa w Przemysle, Medycynie, Rolnictwie i Ochronie Środowiska: Krajowe Sympozjum: Kraków, 7–9 września 2005. Ponadto byłem współautorem posteru

zaprezentowanego na konferencji Tracers and Tracing Methods TRACER 3: 22–24 June 2004, Ciechocinek, Poland.

### **III.2. Po doktoracie**

Na stanowisku adiunkta w Katedrze Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH zostałem zatrudniony 15 grudnia 2010 roku, stając się równocześnie członkiem zespołu petrofizyki (kierownik prof. dr hab. inż. Jadwiga Jarzyna).

W ten sposób mogłem rozpocząć współpracę z dr inż. Tomaszem Zorskim w zakresie zastosowania metod radiometrycznych w geofizyce otworowej.

W roku 2012 zająłem się reorganizacją pomieszczenia Laboratorium Geofizyki Otworowej, którego zostałem opiekunem. Celem zabezpieczenia możliwości badawczych laboratorium pozyskałem z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH moduły zamienne do systemu Standard. Działanie takie było niezbędnym do czasu pozyskania funduszy w ramach projektu: *Modernizacja laboratorium geofizycznego dla celów zwiększenia możliwości wyznaczania parametrów fizycznych skał w warunkach in situ i laboratoryjnych*, finansowanego z Funduszu Nauki i Technologii Polskiej, kierowanego przez prof. dr hab. inż. Jadwigę Jarzynę w latach 2013-2016. W ramach tego projektu zakupiłem nowy tor pomiarowy z detektorem scyntylacyjnym typu BRILANCE do pomiaru promieniowania gamma, spektrometr dwukomorowy do pomiaru promieniowania alfa oraz program MCNP6 do symulacji transportu promieniowania. Ponadto przygotowałem dokumenty związane z zasadami korzystania z laboratorium przez pracowników oraz studentów. Dalsze działania związane z modernizacją stanowiska do pomiaru naturalnej promieniotwórczości próbek skalnych było możliwe dzięki zaangażowaniu mnie jako wykonawcy w projekcie finansowanym przez NCBiR: *MWSSSG – Metodologia wyznaczania sweet spot'ów na podstawie własności geochemicznych, petrofizycznych, geomechanicznych w oparciu o korelację wyników badań laboratoryjnych z pomiarami geofizycznymi i model generacyjny 3D*, zadanie nr 10. Przebudowany spektrometryczny tor pomiarowy wykorzystałem do pomiarów koncentracji naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach pozyskanych z rdzeni wiertniczych. W wyniku podjętych przeze mnie działań otrzymany układ pomiarowy charakteryzuje się dużą stabilnością temperaturową oraz niskim i stabilnym tłem własnym.

Wykonane badania były istotne ze względu na weryfikację danych uzyskanych innymi metodami pomiarowymi oraz uzupełnieniem profilowań geofizycznych. Ponadto w ramach wymienionego projektu zajmowałem się opracowaniem statystycznym wyników profilowań geofizycznych (wykorzystanie analizy czynnikowej, analizy składowych głównych, sieci neuronowych). Powierzone obowiązki w ramach projektu obejmowały także instalację i uruchomienie symulacji komputerowych na maszynie wieloprocesorowej PROMETHEUS w Cyfronet AGH we współpracy z mgr. Dominikiem Dworakiem z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Efektem naukowym prowadzonych przeze mnie badań było współautorstwo pięciu rozdziałów w monografii: Jarzyna i in. 2017 oraz 15 referatów przedstawionych na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Ze względu na duży potencjał naukowy oraz zainteresowanie odbiorców, temat jest dalej kontynuowany w zakresie zastosowania różnych metod dyskryminacyjnych i aglomeracyjnych w analizie danych oraz sztucznych sieci neuronowych (m.in. deep learning) w rozpoznawaniu formacji geologicznych oraz rozwiązywaniu zagadnień odwrotnych. Kontynuuję również prace związane z symulacjami w środowisku MCNP6 w zakresie zwiększenia dokładności pomiarów koncentracji naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach skalnych.

Celem poszerzania wiedzy praktycznej w roku 2012 odbyłem wyjazd studyjny na otwór wiertniczy Dukla 1 oraz miesięczną praktykę w przedsiębiorstwie Geofizyka Kraków S.A.

Także w roku 2012 zostałem zatrudniony, jako wykonawca w projekcie badawczym: *Flow of concentrated and complex slurries in closed conduits*, prowadzonym przez prof. dr. inż. Pavla Vlásaaka z Instytutu Hydrodynamiki Czeskiej Akademii Nauk (nr grantu: P105/10/1574 GA ČR). Pomiary zostały wykonane na instalacji badawczej w Laboratorium Wodnym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (kierownik prof. dr hab. inż. Jerzy Sobota). Ze względu na charakter pomiarów przygotowałem niezbędną dokumentację do uzyskania pozwolenia z Państwowej Agencji Atomistyki na wykonanie pomiarów oraz przewóz zamkniętych źródeł promieniotwórczych. Dokumentacja obejmowała m.in.: plan pomiarów, plan pomieszczeń wraz ze wskazaniem miejsca wykonywania pomiarów oraz przechowywania izotopów, plan awaryjny, obliczenia dopuszczalnych maksymalnych dawek dla pracowników oraz osób postronnych, program zapewnienia jakości, program szkolenia z zakresu ochrony radiologicznej. Ponadto razem dr inż. Leszkiem Petryką, dr hab. inż. Robertem Hanusem, dr inż. Joanną Dudalą (inspektor ochrony radiologicznej), dr inż. Moniką Śleziak i mgr inż. Aleksandrem Kupcem przygotowałem radiometryczną aparaturę pomiarową, wybrane ziarna do pomiarów radioznacznikowych oraz zaplanowałem i wykonałem pomiary.

Na podstawie otrzymanych danych pomiarowych, obliczeń oraz ich analizy byłem współautorem raportu końcowego. Dalszą konsekwencją projektu było rozwinięcie współpracy z Instytutem Hydrodynamiki Czeskiej Akademii Nauk. Stąd, w roku 2014 mogłem odbyć wyjazd studyjny do laboratoriów Instytutu. Ponadto, zebrane dane pozwoliły mi na prezentację referatów na konferencjach międzynarodowych oraz publikacje artykułów w czasopiśmie indeksowanych w bazie Web of Science.

W roku 2014 rozpocząłem współpracę z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Górnictwa Surowców Chemicznych "CHEMKOP" Sp. z o.o. celem budowy zestawu do geofizycznych pomiarów otworowych w wysadach solnych. Prace zostały sfinansowane w ramach Europejskiego Funduszu Regionalnego, z Programu Innowacyjna Gospodarka (umowa nr POIG 01.0400-12-030/13), pt.: *Opracowanie technologii wraz z urządzeniami do pomiarów otworów wiertniczych*. Moją rolą razem z dr hab. inż. Chau Nguyen Dinh, prof. AGH był nadzór naukowy oraz pomoc w obliczeniach i pozyskaniu niezbędnych części do sond. Ponadto wykonałem pomiary testowe prototypów oraz byłem współautorem raportu końcowego. W oparciu o uzyskane wyniki opracowałem artykuł opublikowany w Przeglądzie Elektrotechnicznym nr 8/2018, pod tytułem: *System do pomiarów geofizycznych w wysadach solnych* (**Zych** i in. 2018c). Dodatkowo, na konferencji MSM'2018 przedstawiłem poster, dotyczący zbudowanej aparatury. Uwzględniając potrzeby OBR „Chemkop”, przewiduję

dalszą współpracę w zakresie rozwoju systemów pomiarowych i pozyskiwanie funduszy na ten cel.

Współpraca rozpoczęta w roku 2003 z Katedrą Geologii Ogólnej i Geoturystyki WGGiOŚ AGH jest przeze mnie dalej kontynuowana w zakresie badania przepływów zawieszin sedymentujących w kanale otwartym oraz przepływów dwufazowych w rurociągach.

Badania związane z transportem sedymentujących mieszanin (wody i diatomitu) w kanale otwartym związane były z wyznaczaniem średniej prędkości cząstek na wybranych głębokościach oraz zmian koncentracji. Uzyskane dane opisałem m.in. w artykułach: **Zych i in.** 2014, **Zych i in.** 2015a.

W roku 2015 rozpocząłem współpracę z dr hab. inż. Markiem Jaszczurem z Wydziału Energetyki i Paliw AGH. Umożliwiło to wykorzystanie metod optycznych PIV (Particle Image Velocimetry) i LIF (Laser Induced Fluorescence) w wykonywanych badaniach. Dzięki połączeniu metod radioizotopowych i optycznych możliwe stało się pozyskiwanie znacznie większej ilości informacji o badanym zjawisku.

Dalsze poszerzanie współpracy z dr hab. inż. Volodymyrem Mosorovem (Politechnika Łódzka), dr hab. inż. Dariuszem Świsulskim, dr inż. Anną Golijanek – Jędrzejczyk (Politechnika Gdańska), dr inż. Barbarą Wilk (Politechnika Rzeszowska), mgr inż. Piotrem Zychem (Politechnika Warszawska) stworzyło mi możliwość badań interdyscyplinarnych w zakresie pomiarów przepływów dwufazowych. Efektem jest szereg artykułów, które ukazały się w czasopiśmie z listy JCR (np. Powder Technology, Measurement, Applied Radiation and Isotopes, Flow Measurement and Instrumentation) oraz były prezentowane w formie referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

W zakresie badań naturalnej promieniotwórczości próbek skalnych współpracuję także z dr hab. Krzysztofem Kozakiem, dr Jadwigą Mazur z Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz dr inż. Pawłem Jodłowskim z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH.

Aktywność badawcza i wydawnicza pozwoliła mi nawiązać owocne kontakty z ośrodkami zagranicznymi.

W 2017 roku z propozycją współpracy wystąpił zespół naukowców z Iranu: dr Gholam Hossein Roshani (Kermanshah University of Technology), mgr Arezoo Khazaei (Shahid Beheshti University), mgr Ehsan Nazemi (Nuclear Science and Technology Research Institute). Wynikiem wspólnych badań jest m.in. artykuł Roshani i in. 2018a.

Innym efektem prowadzonych intensywnie prac badawczych nad metodami korelacyjnymi w pomiarach przepływów wielofazowych było zorganizowanie przeze mnie we współpracy z Patrickiem Brissetem, komisarzem Wydziału Nauk Fizycznych i Chemicznych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) ONZ w dniach 25-29 czerwca 2018 roku seminarium: *Consultant Meeting on development of tool package for flow-rate measurement using cross-correlation method* na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH. W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele: Brazylii – dr Luis Eduardo Barreira Brandão

(Instituto de Engenharia Nuclear), Republiki Korei Południowej – dr Sung-Hee Jung (Korea Atomic Energy Research Institute – KAERI), Norwegii – prof. Geir Anton Johansen (Western Norway University of Applied Sciences – HVL), USA – prof. Muthanna Al Dahhan (Missouri University of Science and Technology) oraz Polski: dr hab. inż. Volodymyr Mosorov (Politechnika Łódzka), dr hab. inż. Robert Hanus (Politechnika Rzeszowska), dr hab. inż. Marek Jaszczur (AGH), dr inż. Leszek Petryka (AGH), mgr Tomasz Abraham (Uniwersytet Warszawski, IRtech sp. z o.o.) oraz studenci z AGH. Rezultatem seminarium było przygotowanie wytycznych oraz zaleceń dla przyszłego projektu CRP (Coordinated Research Project), którego celem będzie rozwój oprogramowania wykorzystującego metody korelacyjne i jego zastosowanie w radiometrycznych metodach pomiarowych przepływów wielofazowych. Innym wymiarem spotkania było nawiązanie bliższych kontaktów z uczestnikami, które powinny zaowocować współpracą naukową.

Również w roku 2018 rozpocząłem współpracę z dr hab. Norbertem Szabó z Instytutu Geofizyki, Faculty of Earth Science and Engineering, Uniwersytetu w Miskolcu w zakresie wykorzystania metod inteligencji obliczeniowej w analizie profilowań otworowych.

Rozwijanie przedstawionej tematyki badawczej jest także możliwe dzięki współfinansowaniu w ramach badań statutowych Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH zadania nr 13: *Metody statystyczne w analizie danych pomiarów radiometrycznych w geofizyce*, którego jestem kierownikiem od 2014 roku.

### **III.3. Współpraca z instytucjami lub organizacjami, będącymi zgodnie z postanowieniami ich statutów towarzystwami naukowymi albo działającymi w zakresie sztuki w kraju i za granicą**

Od 2014 roku jestem członkiem Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego (SITPNiG) w kole Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.

W roku 2018 po zgłoszeniu i pozytywnej weryfikacji zostałem wpisany do bazy ekspertów zewnętrznych Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA).

### **III.4. Zestawienia bibliometryczne**

Prowadzone prace w zakresie konstrukcji aparatury naukowej, analizy i interpretacji sygnałów z pomiarowych układów radiometrycznych, statystycznej analizy danych petrofizycznych oraz profilowań geofizycznych zaowocowały autorstwem i współautorstwem 87 publikacji (załącznik 3) po doktoracie. Zestawienie moich publikacji pokazuje Tabela 4.

Suma punktów MNiSW na dzień 31.12.2018 wynosiła 896.5 pkt., sumaryczny IF = 14.891 (dla artykułów, które ukazały się w roku 2018 przyjęto IF za rok 2017).

Tabela 5 przedstawia liczbę cytowań oraz indeks Hirscha uzyskane przeze mnie dla baz: Web of Science Core Collection oraz SCOPUS. Ponadto baza OnePetro wykazuje 3 publikacje z serii konferencji Ocean Mining (& gas hydrates) Symposium organizowanych przez International Society of Offshore and Polar Engineers, których byłem współautorem.

Tabela 4. Rozkład liczby publikacji habilitanta przed i po doktoracie na dzień 18.02.2019

	Artykuły w czasopismach z listy A MNiSW	Artykuły w czasopismach z listy B MNiSW	Artykuły konferencyjne w bazie Web of Science Core Collection	Artykuły konferencyjne w bazie SCOPUS	Rozdziały w monografiach	Artykuły konferencyjne nieindeksowane
przed doktoratem	1	-	1	1	-	3
po doktoracie	14	17	27	32	7	22

Po uzyskaniu doktoratu brałem udział w 14 konferencjach krajowych i międzynarodowych wygłaszając 10 referatów oraz przedstawiając 13 posterów. Referaty i postery, których byłem autorem lub współautorem były prezentowane m.in. na konferencjach i seminariach: 35<sup>th</sup> International Geological Congress w Republice Południowej Afryki (2016 rok), ISOPE Ocean Mining (& gas hydrates) Symposium: deep ocean minerals, exploration, mining, gas hydrates and environment w Szczecinie, 4<sup>th</sup> International Conference on Applied Geophysics w Krakowie, SGEM 2016: 16<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference: Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining w Bułgarii, 78<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition w Austrii, XXI Fluid Mechanics Conference w Krakowie, IMEKO: 21<sup>th</sup> World Congress "Measurement in research and industry" w Republice Czeskiej, Geopetrol 2016: współpraca nauki i przemysłu w rozwoju poszukiwań i eksploatacji złóż węglowodorów: X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna w Zakopanem, serii konferencji Experimental Fluid Mechanics w Republice Czeskiej, Międzynarodowe Seminarium Metrologów (Polska i Ukraina).

W roku 2016 na konferencji Experimental Fluid Mechanics EFM 2016 w Máriánské Lázně, zostałem wyróżniony za referat: *Evaluation of the structures size in the liquid-gas flow by gamma-ray absorption*. W roku 2018 zostałem zaproszony do wygłoszenia referatu plenarnego, pt.: *Prospects for the application of radiometric methods in the measurement of two-phase flows* na międzynarodowej konferencji EFM 2017 w Mikulovie w Republice Czeskiej.

Tabela 5. Liczba cytowań oraz wartość indeksu Hirscha (H) habilitanta na dzień 18.02.2019

Baza	Liczba indeksowanych artykułów	Suma wszystkich cytowań	Suma cytowań bez autocytowań	Indeks H z uwzględnieniem wszystkich cytowań	Indeks H bez autocytowań
Web of Science Core Collection	44	223	81	8	5*
SCOPUS	58	318	86	10	5

\*Indeks wyliczony samodzielnie

Otrzymałem trzy razy nagrodę J.M. Rektora AGH: dwa razy (w latach 2015 i 2016) indywidualną nagrodę J.M. Rektora AGH II stopnia za osiągnięcia naukowe, zaś w roku 2018 indywidualną nagrodę J.M. Rektora AGH I stopnia.

Dużą część mojej aktywności naukowej to wykonywanie recenzji manuskryptów do czasopism krajowych, zagranicznych i wydawnictw konferencyjnych. W okresie 2014 – 2018 wykonałem ok. 40 recenzji, m.in. dla: konferencji z serii: Experimental Fluid Mechanics i Międzynarodowe Seminarium Metrologów oraz dla czasopism: Acta Geophysica (Springer), Applied Radiation and Isotopes (Elsevier), Flow Measurement and Instrumentation (Elsevier), Isotopes in Environmental and Health Studies (Taylor & Francis), Kerntechnik (Springer), MAPAN Journal of Metrology Society (Springer), Measurement (Elsevier), Metrology and Measurement System, Powder Technology (Elsevier), Process Safety and Environmental Protection (Elsevier), Radiation Detection Technology and Methods (Springer), Sensors (MDPI), Sustainability (MDPI), Water (MDPI), Przegląd Elektrotechniczny, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Do wniosku, jako załączniki dołączam certyfikaty recenzowania dla czasopism, które takie dokumenty dostarczają.

Marcin Zych

## **Bibliografia**

- Ameran HLM, Mohamad EJ, Muji SZM, Rahim RA, Abdullah J, Rashid WNA (2017) Multiphase flow velocity measurement of chemical processes using electrical tomography: A review. In: Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2016: 16774366. doi: 10.1109/I2CACIS.2016.7885308
- Banasiak R, Wajman R, Jaworski T, Fiderek P, Fidos H, Nowakowski J, Sankowski D (2014) Study on two-phase flow regime visualization and identification using 3D electrical capacitance tomography and fuzzy-logic classification. International Journal of Multiphase Flow **58**: 1–14. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.07.003
- Beck MS, Płaskowski A (1987) Cross-correlation flowmeters. Adam Hilger, Bristol.
- Benesty J, Huang Y, Chen J (2007) Time delay estimation via minimum entropy. IEEE Signal Process Letters **3**: 157-160. doi: 10.1109/LSP.2006.884038
- Drabina A, Dworak D, Loskiewicz J, Zorski T (2001) A comparison of theoretical solutions of the three-layer coaxial diffusion approximation of the borehole with measurements at the Zielona Góra calibration facility. Applied Radiation and Isotopes **54**(5): 849-852. doi: 10.1016/S0969-8043(00)00329-8
- Dziubiński M, Prywer J (2009) Mechanika płynów dwufazowych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa.
- Falcone G, Hewitt GF, Alimonti C (2009) Multiphase flow metering: principles and applications. Elsevier, Amsterdam.
- García JT, Viguera-Rodríguez A, Castillo LG, Carrillo JM (2017) Evaluation of Sulfide Control by Air-Injection in Sewer Force Mains: Field and Laboratory Study. Sustainability (MDPI) **9**(3): 402. doi:10.3390/su9030402
- Guide (1995) Guide to the expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization.
- Hanus R, Szlachta A, Kowalczyk A, Petryka L, Zych M (2012) Radioisotope measurement of two-phase flow in pipeline using conditional averaging of signal. In: Proceedings of the



- Mediterranean Electrotechnical Conference – MELECON: 144-147. doi: 10.1109/MELCON.2012.6196400
- Hanus R, Petryka L, Zych M (2014) Velocity measurement of the liquid–solid flow in a vertical pipeline using gamma-ray absorption and weighted cross-correlation. *Flow Measurement and Instrumentation* **40**: 58–63. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2014.08.007
- Hanus R, Zych M, Petryka L, Świsulski D (2014a) Time delay estimation in two-phase flow investigation using the  $\gamma$  -Ray attenuation technique. *Mathematical Problems in Engineering* **2014**: 475735. doi: 10.1155/2014/475735
- Hanus R (2015) Application of the Hilbert Transform to measurements of liquid-gas flow using gamma ray densitometry. *International Journal of Multiphase Flow* **72**: 210-217. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.02.002
- Hanus R, Zych M, Petryka L, Jaszczur M, Hanus P (2016) Signals features extraction in liquid-gas flow measurements using gamma densitometry. Part 1: Time domain. In: *EPJ Web of Conferences* **114**: 2035. doi: 10.1051/epjconf/201611402035
- Hanus R, Zych M, Petryka L, Jaszczur M, Hanus P (2016a) Signals features extraction in liquid-gas flow measurements using gamma densitometry. Part 2: Frequency domain. In: *EPJ Web of Conferences* **114**: 2036. doi: 10.1051/epjconf/201611402036
- Heindela TH, Grayb JN, Jensenb TC (2008) An X-ray system for visualizing fluid flows. *Flow Measurement and Instrumentation* **19**: 67–78. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2007.09.003
- Huang X, Zhang Y, Tian B, Liu X (2015) Time delay estimation and acoustic emission source location of rock based on phase difference. *Rock and Soil Mechanics* **36**(2): 381-386. doi: 10.16285/j.rsm.2015.02.012
- Jarzyna J, Bała M, Zorski T (1999). *Metody geofizyki otworowej: pomiary i interpretacja*. Wyd. 2. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Jarzyna JA, Krakowska PI, Puskarczyk E, Wawrzyniak-Guz K, Bielecki J, Tkocz K, Tarasiuk J, Wroński S, Dohnalik M (2016) X-ray computed microtomography—a useful tool for petrophysical properties determination. *Computational Geosciences* **20**(5): 1155-1167. doi: 10.1007/s10596-016-9582-3
- Jarzyna J, Wawrzyniak-Guz K (red.) (2017) *Adaptacja do warunków polskich metodologii wyznaczania sweet spot’ów na podstawie korelacji pomiarów geofizycznych z rdzeniami wiertniczymi. Zadanie 10 w Projekcie MWSSSG: Metodologia wyznaczania sweet spot’ów na podstawie własności geochemicznych, petrofizycznych, geomechanicznych w oparciu o korelację wyników badań laboratoryjnych z pomiarami geofizycznymi i model generacyjny 3D*. Drukarnia GOLDRUK Wojciech Gołachowski, Kraków.
- Johansen G, Jackson P (2004) *Radioisotope gauges for industrial process measurements*. Wiley, New York.
- Knoll GF (2000) *Radiation detection and measurement*. 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lee B, Kalker T (2007) Maximum a posteriori estimation of time delay. In: *2007 2nd IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing, CAMPSAP*: 9967764. doi: 10.1109/CAMPSAP.2007.4498021
- Roshani GH, Nazemi E, Roshani MM (2017) Identification of flow regime and estimation of volume fraction independent of liquid phase density in gas-liquid two-phase flow. *Progress in Nuclear Energy* **98**: 29-37. doi: 10.1016/j.pnucene.2017.02.004
- Roshani GH, Nazemi E (2017a) Intelligent densitometry of petroleum products in stratified regime of two phase flows using gamma ray and neural network. *Flow Measurement and Instrumentation* **58**: 6-11. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2017.09.007
- Roshani GH, Nazemi E, Roshani MM (2017b) Flow regime independent volume fraction estimation in three-phase flows using dual-energy broad beam technique and artificial

- neural network. *Neural Computing and Applications* **28**: 1265–1274. doi: 10.1007/s00521-016-2784-8
- Roshani GH, Karami A, Khazaei A, Olfateh A, Nazemi E, Omid M (2018) Optimization of radioactive sources to achieve the highest precision in three-phase flow meters using Jaya algorithm. *Applied Radiation and Isotopes* **139**: 256-265. doi: 10.1016/j.apradiso.2018.05.015
- Roshani GH, Hanus R, Khazaei A, Zych M, Nazemi E, Mosorov V (2018a) Density and velocity determination for single-phase flow based on radiotracer technique and neural networks. *Flow Measurement and Instrumentation* **61**: 9-14. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2018.03.006
- Roux P, Sabra KG, Gerstoft P, Kuperman WA, Fehler MC (2005) P-waves from cross-correlation of seismic noise. *Geophysical Research Letters* **32**: L19303. doi: 10.1029/2005GL023803
- Salgado CM, Pereira C, Schirru R, Brandão LEB (2010) Flow regime identification and volume fraction prediction in multiphase flows by means of gamma-ray attenuation and artificial neural networks. *Progress in Nuclear Energy* **52**: 555-562. doi:10.1016/j.pnucene.2010.02.001
- Sun HM, Jia RS, Du QQ, Fu Y (2016) Cross-correlation analysis and time delay estimation of a homologous micro-seismic signal based on the Hilbert-Huang transform. *Computers & Geosciences* **91**: 98-104. doi: 10.1016/j.cageo.2016.03.012
- Tittman J (1986) *Geophysical well logging. Methods Exp. Phys.* 24. Academic Press, Inc., Toronto.
- Tudyka K, Bluszcz A (2016) A study on photomultiplier after pulses in TL/OSL readers. *Radiation Measurements* **86**: 39-48. doi: 10.1016/j.radmeas.2016.01.004
- Wapenaar K, van der Neut J, Ruigrok E, Draganov D, Hunziker J, Slob E, Thorbecke J, Snieder R (2011) Seismic interferometry by crosscorrelation and by multidimensional deconvolution: A systematic comparison. *Geophysical Journal International* **185**(3): 1335-1364. doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05007.x
- Xu LA, Green RG, Płaskowski A, Beck MS (1988) The pulsed ultrasonic cross-correlation flowmeter for two-phase flow measurement. *Journal of Physics E: Scientific Instruments* **21**(4): 406-414. doi: 10.1088/0022-3735/21/4/014
- Zych M, Petryka L, Kepiński J, Hanus R, Bujak T, Puskarczyk E (2014) Radioisotope investigations of compound two-phase flows in an open channel. *Flow Measurement and Instrumentation* **35**: 11-15 doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2013.10.001
- Zych M, Hanus R, Petryka L (2014a) Application of spectral analysis in radiometric measurements of two-phase liquid-gas flow. *MATEC Web of Conferences* **18**: 02004. doi: 10.1051/mateconf/20141802004
- Zych M, Hanus R, Petryka L, Świsulski D, Doktor M, Mastej W (2015a) Analysis of radiometric signal in sedimentating suspension flow in open channel. In: *EPJ Web of Conferences* **92**: 02121. doi: 10.1051/epjconf/20159202121
- Zych M, Hanus R, Kozak K, Zorski T, Mosorov V, Mazur J, Petryka L, Zych P, Strzępowicz A (2015b) Comparison of methods for noise reduction of gamma energy spectra. In: *XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry"*, August 30–September 4, 2015 Prague, Czech Republic, IMEKO Event Proceedings. <https://www.imeko.org/publications/wc-2015/IMEKO-WC-2015-TC19-373.pdf>
- Zych M, Hanus R, Jaszczur M, Strzępowicz A, Petryka L, Mastej W (2016) Determination of void fraction in two phase liquid-gas flow using gamma absorption. *Journal of Physics: Conference Series* **745**: 032124. doi:10.1088/1742-6596/745/3/032124
- Zych M (2017) Pomiar zawartości toru, uranu i potasu w próbkach z rdzeni wiertniczych. *Przegląd Elektrotechniczny* **93**(9): 142-145. doi: 10.15199/48.2017.09.29

- Zych M, Hanus R, Jaszczur M, Mosorov V, Świsulski D (2018a) Radioisotope measurement of selected parameters of liquid-gas flow using single detector system. In: EPJ Web of Conferences **180**: 2124. doi: 10.1051/epjconf/201817002124
- Zych M, Hanus R, Jaszczur M, Świsulski D, Petryka L, Jodłowski P, Zych P (2018b) Evaluation of the structures size in the liquid-gas flow by gamma-ray absorption. EPJ Web Conferences **180**: 02123. doi: 10.1051/epjconf/201818002123
- Zych M, Włodarczyk P, Nowak M, Kubacka T, Gardęła A (2018c) System do pomiarów geofizycznych w wysadach solnych. Przegląd Elektrotechniczny **94**(8): 140–145. doi: 10.15199/48.2018.08.33
- Zych M, Stachura G, Hanus R, Szabó NP (2019) Application of Artificial Neural Networks in Identification of Geological Formations on the Basis of Well Logging Data – A Comparison of Computational Environments’ Efficiency. XXII International Seminar of Metrology “Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements” MSM’2018, Conference Proceeding: 416–422. Springer Nature Switzerland AG. doi: 10.1007/978-3-030-11187-8\_34