

Załącznik nr 1

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Edyta Puskarczyk

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

Kraków, luty, 2020

1. Imię i nazwisko

Edyta Puskarczyk

Identyfikatory autora:

ORCID: 0000-0001-5277-0507; ResearcherID: S-3879-2018; Scopus: 34969428500; PBN: 900474

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2011 – stopień doktora nauk o Ziemi, w dyscyplinie Geofizyka (Załącznik 3)

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Stacjonarne Studia Doktoranckie w zakresie Nauk o Ziemi – Geofizyka (2005 – 2010); data obrony pracy doktorskiej: 11.04.2011 (16.05.2011 data nadania stopnia doktora)

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Ocena własności zbiornikowych skał przy wykorzystaniu zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego*

Promotor: prof. dr hab. inż. Jadwiga Jarzyna

2005 – tytuł zawodowy magistra inżyniera (Załącznik 10)

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Kierunek – Inżynieria Środowiska, specjalność – Geofizyka Środowiska; data uzyskania tytułu: 15.07.2005.

Tytuł pracy magisterskiej: *Magnetyczny rezonans jądrowy w zastosowaniu do badania własności skał*. Studia ukończone z wynikiem celującym.

Promotor: prof. dr hab. inż. Jadwiga Jarzyna

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

03.2012 – obecnie

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

Stanowisko: adiunkt naukowo-dydaktyczny, umowa o pracę

04.2011 – 02.2012

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

Stanowisko: asystent naukowo-dydaktyczny, umowa o pracę

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego (cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych)

Zintegrowana analiza wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej z wykorzystaniem metod statystycznych i sztucznej inteligencji dla rozpoznania potencjału zbiornikowego skał

4.2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 219 ust. 1 pkt 2, stanowiących osiągnięcie naukowe:

Teksty publikacji oraz oświadczenia współautorów o indywidualnym wkładzie w powstanie prac przedstawiłam w **załącznikach numer 4 i 5**.

Kolejność zestawienia publikacji wynika z tematyki podjętej w pracach, zakresu analizowanych danych oraz stosowanych metod.

Numery i roczniki wydania są efektem zróżnicowanej długości trwania procesów edytorskich i wydawniczych.

1. [A1] Jarzyna, J. A., Bala, M.J., Mortimer, Z.M., and **Puskarczyk, E.**, Reservoir parameter classification of a Miocene formation using a fractal approach to well logging, porosimetry and nuclear magnetic resonance, *Geophysical Prospecting*, 2013, **61**, 1006-1021

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 1,506, IF (5-year) – 1,660
Lista a MNiSW – 25 pkt
Udział procentowy: 25 %

2. [A2] Jarzyna, J.A., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Semyrka, R., Rock Reservoir Properties from the Comprehensive Interpretation of Nuclear Magnetic Resonance and Mercury Injection Porosimetry Laboratory Results, *Applied Magnetic Resonance*, 2015, **46**, 95-115

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,884, IF (5-year) – 0,924
Lista a MNiSW – 20 pkt
Udział procentowy: 30 %

3. [A3] Jarzyna, J.A., **Puskarczyk, E.**, Motyka, J., Estimating porosity and hydraulic conductivity for hydrogeology on the basis of reservoir and elastic petrophysical parameters, *Journal of Applied Geophysics*, 2019, **167**, 11-18

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 1,646, IF (5-year) – 1,918
Punktacja MNiSW (2019) – 100 pkt
Udział procentowy: 45 %

4. [A4] **Puskarczyk, E.**, Jarzyna, J.A., And Porębski, Sz., Application of multivariate statistical methods for characterizing heterolithic reservoirs based on wireline logs – example from the Carpathian Foredeep Basin (Middle Miocene, SE Poland), *Geological Quarterly*, 2015, **59(1)**, 157-168

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,858, IF (5-year) – 0,918
Lista a MNiSW – 20 pkt
Udział procentowy: 90 %

5. [A5] Puskarczyk, E., Krakowska, P., Jędrychowski, M., Habrat, M., Madejski, P., a novel approach to the quantitative interpretation of petrophysical parameters using nano-CT: example of Palaeozoic carbonates, *Acta Geophysica*, 2018, **66**, 1453–1461

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,917, IF (5-year) – 1,008
Lista a MNiSW – 20 pkt
Udział procentowy: 80 %

6. [A6] Puskarczyk, E., Jarzyna, J.A., Wawrzyniak-Guz, K., Krakowska, P.I., Zych, M., Improved recognition of rock formation on the basis of well logging and laboratory experiments results using factor analysis, *Acta Geophysica*, 2019, **67**, 1809-1822

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,917, IF (5-year) – 1,008
Punktacja MNiSW (2019) – 40 pkt
Udział procentowy: 80 %

7. [A7] Waszkiewicz, S., Krakowska-Madejska, P., Puskarczyk, E., Estimation of absolute permeability using artificial neural networks (multilayer perceptron) based on well logs and laboratory data from Silurian and Ordovician deposits in SE Poland, *Acta Geophysica*, 2019, **67**, 1885-1894

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,917, IF (5-year) – 1,008
Punktacja MNiSW (2019) – 40 pkt
Udział procentowy: 30 %

8. [A8] Jarzyna, J.A., Krakowska, P.I., Edyta Puskarczyk, Wawrzyniak-Guz, K., Zych, M., Total organic carbon from well logging - statistical approach, Polish shale gas formation case study, *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, 2019, **22(2)**, 140–162

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,683, IF (5-year) – 0,753
Punktacja MNiSW (2019) – 20 pkt
Udział procentowy: 30 %

9. [A9] Puskarczyk, E., Applying of the Artificial Neural Networks (ANN) to Identify and Characterize Sweet Spots in Shale Gas Formations, *E3S Web of Conferences*, *Czasopismo elektroniczne*, 2018, **35**, art. no. 03008, 1–7

Czasopismo indeksowane w WoS, Scopus
Punktacja MNiSW (2017) – 15 pkt
Udział procentowy: 100 %

10. [A10] Puskarczyk, E., Artificial neural networks as a tool for pattern recognition and electrofacies analysis in Polish palaeozoic shale gas formations, *Acta Geophysica*, 2019, **67**, 1991-2003

Czasopismo indeksowane w JCR, WoS, Scopus
IF – 0,917, IF (5-year) – 1,008
Punktacja MNiSW (2019) – 40 pkt

4.3. Realizacja zadań i współautorstwo raportów będących wynikami prac w projektach badawczych, związanych bezpośrednio z osiągnięciem

Praca przy pomiarach laboratoryjnych, analiza i interpretacja danych laboratoryjnych i geofizyki otworowej, sporządzanie raportów i opracowań daty asumpt do napisania publikacji [A2], [A4 – A6], [A8 - A10], wymienionych w osiągnięciu. Załączam zaświadczenia kierowników projektów [PB2] [PB7] [PB11 - PB12], potwierdzające mój udział w pracach badawczych, w zakresie prezentowanym w Autoreferacie (Załącznik 10), numeracja projektów zgodna z wykazem (Załącznik 6).

Zakres prac wykonanych w przedstawionych projektach, będący moim udziałem dotyczył realizacji zadań związanych przede wszystkim z zintegrowaną analizą wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej. W wymienionych projektach. Moim zadaniem było również przeprowadzenie analizy statystycznej pozyskanych danych. Byłam pomysłodawcą i wykonawcą implementacji wielowymiarowych metod statystycznych i sztucznych sieci neuronowych do realizacji zadań projektów.

Wyniki realizacji przeze mnie zadań, wybranych projektów badawczych, oprócz wymienionych w osiągnięciu artykułów naukowych, były prezentowane w monografiach [M1] i rozdziałach monografii [RM1 – RM3], artykułach, m.in. [P1 – P5, P8 – P9, P11, P14 – P15] oraz podczas licznych wystąpień konferencyjnych (Załącznik 6).

Zestawienie projektów badawczych, w których zajmowałam się problematyką związaną w tematem osiągnięcia:

[PB12] Projekt badawczy: *Rozkład przestrzenny parametrów petrofizycznych formacji na podstawie wyników badań laboratoryjnych, profilowań geofizyki otworowej i sejsmiki;* finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (następnie Narodowe Centrum Nauki); nr NN307294439; Kierownik: prof. dr hab. inż. Jadwiga Jarzyna, AGH w Krakowie, okres realizacji 2010-2013.

Mój udział w projekcie: wykonawca, członek zespołu badawczego. Aplikacja metod statystycznych do analizy danych petrofizycznych. Dane uzyskane i wytworzone w trakcie realizacji projektu wykorzystano w publikacji [A2].

[PB11] Projekt badawczy: *Kryteria identyfikacji gazonośnych heterolitycznych skał zbiornikowych w osadach miocenu zapadliska przedkarpackiego w oparciu o kompleksową interpretację rdzeni, geofizycznych danych sejsmicznych i otworowych;* finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr N525254040, Kierownik: prof. dr hab. Szczepan Porębski, AGH w Krakowie, okres realizacji 2011-2014.

Mój udział w projekcie: wykonawca, członek zespołu badawczego. Aplikacja wielowymiarowych metod statystycznych do analizy danych petrofizycznych. Dane uzyskane i wytworzone w trakcie realizacji projektu wykorzystano w publikacji [A4].

[PB2] Projekt badawczy: *Nowatorska metodyka interpretacji niekonwencjonalnych złóż ropy i gazu z wykorzystaniem wyników rentgenowskiej tomografii komputerowej,* umowa LIDER/319/L-6/14/NCBR/2015; finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Program Lider VI; Kierownik: dr inż. Paulina Krakowska, AGH w Krakowie, okres realizacji 2016-2019.

Mój udział w projekcie: główny wykonawca, członek zespołu badawczego, petrofizyk, udział w chronionej licencji wytworzonego w projekcie oprogramowania: 17%. Dane uzyskane i wytworzone w trakcie realizacji projektu wykorzystano w publikacji [A5].

[PB7] Projekt badawczy: *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 10: Adaptacja do warunków polskich metodologii wyznaczania sweet spot'ów na podstawie korelacji pomiarów geofizycznych z rdzeniami wiertniczymi;* finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju; Program Krajowy, Program Blue Gas; Kierownik projektu (Konsorcjum): prof. dr hab. Irena Matyasik, INiG w Krakowie, Kierownik zadania 10: prof. dr hab. inż. J. Jarzyna, AGH w Krakowie, okres realizacji 2013-2017.

Mój udział w projekcie: wykonawca, członek zespołu badawczego. Aplikacja wielowymiarowych metod statystycznych i sztucznej inteligencji do analizy danych petrofizycznych. Dane uzyskane i wytworzone w trakcie realizacji projektu wykorzystano w publikacji [A6, A8 – A10].

4.4. Komentarz autorski do osiągnięcia badawczego

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy, wchodzący w skład głównego osiągnięcia naukowego obejmuje 10 publikacji naukowych (wszystkie indeksowane w Web of Science Core Collection, 9 indeksowanych w JCR). Pełne treści publikacji z cyklu zostały zamieszczone w załączniku 4, a oświadczenia wszystkich współautorów o udziale w powstaniu prac przedstawia załącznik 5.

Głównym osiągnięciem naukowym jest implementacja metod statystycznych i sztucznej inteligencji dla zwiększenia efektywności interpretacji danych geofizyki otworowej i wyników badań laboratoryjnych oraz dokładniejszego rozpoznania własności zbiornikowych skał. Dla osiągnięcia zamierzonego celu, wykorzystywałam zarówno wielowymiarowe metody analizy danych i metody oparte na sztucznych sieciach neuronowych, jak też proste statystyki i jednowymiarowe metody statystyczne. Opracowana metodyka postępowania przy integrowaniu informacji petrofizycznej i przełożeniu jej na informację geologiczną jest uzupełnieniem i rozszerzeniem dotychczas stosowanych metod interpretacji.

4.4.1. Wprowadzenie

Moja działalność naukowo - badawcza związana jest przede wszystkim z petrofizyką (wykonywanie badań laboratoryjnych na próbkach skał i gleb w Laboratorium Petrofizyki Katedry Geofizyki, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH w Krakowie, w którym od 2014 roku pełnię funkcję kierownika) i geofizyką otworową (interpretacja wyników profilowań geofizyki otworowej, pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jadwigi Jarzyny). Dzięki pracom realizowanym w zespole petrofizyki i geofizyki otworowej KG WGGiOŚ AGH doświadczyłam wielowymiarowości geofizyki otworowej i zwróciłam uwagę na operowanie dużymi zbiorami danych, zapewniającymi powodzenie w stosowaniu różnorodnych metod statystycznych.

W pierwszym okresie pracy badawczej (przed uzyskaniem doktoratu) swoje projekty i badania prowadziłam ze szczególnym uwzględnieniem badań laboratoryjnych: metodyki, pomiarów oraz ich zintegrowanej i szczegółowej interpretacji. Po obronie pracy doktorskiej, zainteresowania badawcze skierowałam na interpretację profilowań geofizyki otworowej i połączenie informacji uzyskanej z badań laboratoryjnych z wynikami profilowań geofizyki otworowej. Zwróciłam także uwagę na wyraźne poszerzenie informacji o badanych obiektach skalnych dzięki wielowymiarowemu połączeniu wyników różnorodnych metod badawczych. Równocześnie, w swojej pracy naukowo – badawczej z coraz większym zainteresowaniem zaczęłam wykorzystywać zaawansowane metody

statystyczne i sztuczną inteligencję. Jednym z celów, które konsekwentnie realizuję, jest wzajemne połączenie wyników różnorodnych badań, wykonanych na tym samym materiale, do czego dążę podczas planowania eksperymentów, ale też poprawne wyskalowanie i dopasowanie wyników, uzyskanych na różnych próbkach, różnymi metodami i z różną rozdzielczością.

Celem naukowym jest dowiedzenie założonej hipotezy badawczej: metody statystyczne i metody sztucznej inteligencji poprawiają dokładność analizy danych petrofizycznych, pozwalają na wydobycie ukrytych informacji z danych pomiarowych, umożliwiają wyodrębnienie interwałów głębokościowych o charakterystycznych, spójnych właściwościach petrofizycznych oraz pozwalają na lepsze rozpoznanie ośrodka skalnego pod kątem jego parametrów zbiornikowych (porowatość, przepuszczalność, nasycenie) – są efektywnym uzupełnieniem standardowych metod interpretacji danych petrofizycznych.

4.4.2. Omówienie celu naukowego przedstawionych prac [A1] – [A10] i osiągniętych wyników

Analiza parametrów petrofizycznych skał z wykorzystaniem statystyk opisowych i metod jednowymiarowych

Wykonanie badań laboratoryjnych z wykorzystaniem różnych metod pomiarowych i urządzeń dostarcza wielu parametrów petrofizycznych, które często dają wieloznaczne rezultaty. Przykładowo, teoretycznie pomiary porowatości wykonane z wykorzystaniem piknometrii helowej, porozymetrii rtęciowej, magnetycznego rezonansu jądrowego czy tomografii komputerowej, powinny dać porównywalne wyniki. W praktyce jednak, często pomiar nie jest wykonywany na dokładnie tym samym fragmencie skały (ograniczona dostępność materiału), a ze względu na ograniczenia fizyczne i techniczne poszczególnych metod, uzyskane wyniki pomiarów trudno uznać za tożsame. W pracy naukowej szukam sposobów na połączenie wyników różnych metod badawczych i różnych parametrów fizycznych. Zastosowanie prostych statystyk jednowymiarowych, prezentowane w pracach [A1 – A3], pozwoliło na uzyskanie założonego celu. Dla wyników badań laboratoryjnych stosowałam także metody grupowania obiektów (próbek), pod kątem podobieństwa sygnałów i wyników różnorodnych badań (magnetyczny rezonans jądrowy i porozymetria rtęciowa). Efektem takiego podejścia było uzyskanie dodatkowych informacji o wykształceniu przestrzeni porowej oraz określenie zdolności do ruchu mediów [A1 – A2]. Przeniesienie i wdrożenie modeli teoretycznych z geofizyki otworowej do interpretacji wyników badań laboratoryjnych, pozwoliło na wzbogacenie o dodatkowe parametry standardowych wyników pomiarów na próbkach z rdzeni wiertniczych [A3].

W artykułach [A1 – A3], przedstawiłam wyniki zastosowania statystyk opisowych i jednowymiarowych metod statystycznych, dla uzyskania nowych, niemierzalnych parametrów. Mój wkład w powstanie prac [A1 – A3] polegał na wykonaniu pomiarów laboratoryjnych, obliczeń i analizie danych laboratoryjnych (szczególnie połączenie wyników pomiarów magnetycznego rezonansu jądrowego, NMR i porozymetrii rtęciowej, MICP). Przeprowadziłam również analizy statystyczne dla analizowanych zbiorów danych. Wykonałam analizy sygnałów NMR, wykorzystując metody grupowania próbek na podstawie kształtu zarejestrowanych sygnałów. Byłam twórcą [A3] i współtwórcą [A1 – A2] hipotezy badawczej i koncepcji badań oraz analiz. Przygotowałam [A3] i byłam współtwórcą [A1 – A2] tekstów publikacji.

Wielowymiarowe metody statystyczne w zastosowaniu do wyznaczenia elektrofacji (na podstawie profilowań geofizyki otworowej, wspomagane badaniami laboratoryjnymi)

Kolejnym etapem, związanym z zastosowaniem metod statystycznych do zintegrowanej analizy wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej, było wykorzystanie wielowymiarowych metod statystycznych, takich jak analiza czynnikowa, analiza składowych głównych i analiza klastrowa.

W pracy [A4], na przykładzie cienkobarstwowych formacji mioceńskich badałam możliwość uzyskania informacji o poziomach nasyconych gazem, wykorzystując tylko standardowy zestaw profilowań geofizyki otworowej (pomiarów oporności, gęstości, indeksu absorpcji fotoelektrycznej, czasu interwałowego, naturalnej promieniotwórczości i porowatości neutronowej) oraz metody statystyczne. W efekcie wykazałam, że analiza składowych głównych pozwala na charakterystykę analizowanego zestawu danych pod kątem parametrów zbiornikowych i oceny ich ważności. Dla otworu, w profilu którego stwierdzono obecność poziomów nasyconych gazem, informacja ta została wyraźnie wydzielona, czego nie zaobserwowano w otworze bez znaczącego nasycenia węglowodorami. Przeprowadzona analiza klastrowa pozwoliła na efektywne wydzielenie poziomów nasyconych gazem od poziomów nasyconych wodą złożową. Efektem było również automatyczne rozdzielenie poziomów (odrębne klastry) różniących się składem mineralnym. Zaobserwowano klastry o przewodzie składnika piaszczystego i klastry o przewodzie składnika ilastego. Wyniki analiz statystycznych zweryfikowałam poprzez porównanie parametrów wydziałonych klastrów z wynikami standardowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej. Mogę stwierdzić, że zaproponowana metodyka jest skutecznym i szybkim sposobem wspomaganie kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej.

Metody klastrowe zastosowałam również do interpretacji zbioru parametrów geometrycznych próbek skał węglanowych, uzyskanych metodą tomografii komputerowej [A5]. Dla niskoporowatych i niskoprzepuszczalnych próbek wapieni i dolomitów metoda grupowania obiektów ukazała podział przestrzeni porowej, w którym decydującym parametrem była objętość analizowanych porów. Następnie przeprowadziłam analizę wzajemnych zależności różnorodnych parametrów, takich jak średnica Fereta, powierzchnia właściwa, średnia średnica kanalika, porowatość, przepuszczalność czy parametr przepływu, w wydziałonych grupach. W efekcie, udało mi się znaleźć zależności między parametrami (dla wapieni i dolomitów oddzielnie), które mogą służyć do predykcji tych parametrów w sytuacji, gdy nie dysponujemy kompletem pomiarów.

Zbiór danych z formacji łupkowych syluru i ordowiku został przetestowany pod kątem doboru zestawu parametrów (profilowań geofizyki otworowej i wyników badań laboratoryjnych) do analiz oraz interpretacji uzyskanych wyników [A6]. Testy wykonałam na danych z jednego otworu wiertniczego, doświadczenie i rezultaty przeniosłam następnie na kolejne dwa otwory. W efekcie testowanych wariantów analizy czynnikowej ustaliłam, że podobieństwo w konstrukcji czynników widoczne było dla wszystkich analizowanych kombinacji danych. Zasadniczo dwa czynniki przenosiły informację związaną z najważniejszymi składnikami litologicznymi i komponentami opisującymi strukturę przestrzeni porowej. Trzeci czynnik zawierał informację o specyficznych cechach formacji, np. objętości kerogenu czy zawartości gazu. Celem pracy było też sprawdzenie i porównanie wyników uzyskanych dla badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej. Pokazałam podobieństwo konstrukcji czynników i ich interpretacji geologicznej. Analiza zależności między liczbą zmiennych i liczbą próbek w zestawach danych potwierdziła, że istnieje zestaw zmiennych związanych z kluczową informacją przeniesioną przez czynniki główne. Okazało się, że mniejsza liczba czynników ułatwiła w analizowanym przypadku interpretację petrofizyczną uzyskanych wyników analiz statystycznych.

Zastosowanie wielowymiarowych metod statystycznych do analizy wyników pomiarów geofizyki otworowej i badań laboratoryjnych, przedstawione w pracach [A4 – A6], dotyczy różnicowanych zbiorów danych (pod kątem wykształcenia litologicznego, lokalizacji, wieku oraz zastosowanych geofizycznych metod pomiarowych). W każdym z omawianych przypadków, udało się uzyskać nowe, nieobserwowalne dane, wzbogacając tym samym możliwości interpretacyjne. W pracach [A4 – A6], byłam inicjatorem i głównym wykonawcą prac. Określiłam hipotezę badawczą i opracowałam koncepcję badań, przygotowałam teksty artykułów. Byłam również pomysłodawcą i wykonawcą przeprowadzonych obliczeń i analiz. Uzyskane wyniki aplikacji metod statystycznych połączyłam z dostępną informacją geologiczną.

Prognozowanie parametrów i klasyfikacja fałcy z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

W pracach [A7 – A10] głównym celem było zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do wspomagania interpretacji profilowań geofizyki otworowej i wyników badań laboratoryjnych. W publikacjach [A7 – A8] byłam współautorem koncepcji artykułów i analiz. Mój udział polegał głównie na opracowaniu metodyki aplikacji sztucznych sieci neuronowych, do prognozowania. Wykorzystując doświadczenie, zdobyte podczas realizacji projektów badawczych, zaplanowałam zestaw danych wejściowych do prognozowania przepuszczalności i całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC). Następnie testowałam sieci i ich parametry oraz weryfikowałam wyniki. Uczestniczyłam w opracowaniu tekstów artykułów. Mój udział w publikacjach [A9 – A10] wynosi 100 %. Jestem pomysłodawcą i wykonawcą wszystkich analiz i obliczeń prezentowanych w publikacjach.

Prace [A7 – A8] dotyczą prognozowania ciągłego rozkładu parametrów, niebędących bezpośrednim wynikiem pomiarów otworowych. Na przykładzie przepuszczalności (K) i całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC) pokazałam, że sztuczne sieci neuronowe (*Multilayer Perceptron*, MLP) i metoda wektorów nośnych (*Support Vector Machines*, SVM) mogą być doskonałym narzędziem do estymacji tych parametrów. Dla osiągnięcia zamierzonego celu testowałam różne sieci, o różnych parametrach (kilkaset wariantów). Uczenie z nadzorem odbywało się na podstawie wyników pomiarów laboratoryjnych K (przepuszczalnościomierz) i TOC (analiza RockEval), najlepsze efekty dało dla sieci MLP. Sieć nauczona estymacji przepuszczalności [A7] i całkowitej zawartości węgla organicznego [A8], była testowana i walidowana dla całego dostępnego interwału profilowań geofizyki otworowej. Dodatkowo, sieć przeniesiono na sąsiednie otwory i wykonano w nich estymację K i TOC. Mogę stwierdzić, że przy dostępności wiarygodnych wyników badań laboratoryjnych, z dobrym skutkiem można przenieść informację w nich zawartą, do pełnego, ciągłego rozkładu tego parametru w otworze. Zarówno metoda sieci MLP jak i wektorów nośnych pozwoliły na prognozowanie parametrów niemierzalnych bezpośrednio (TOC) i trudnomierzalnych (K).

Jednym z założonych celów, które zrealizowałam w pracy badawczej, była analiza elektrofacji (pojęcie to, które określa fałcy wyznaczone na podstawie zestawu pomiarów geofizyki otworowej, nie może być utożsamiane z litofacją, chociaż często obie te wielkości wykazują wysoką korelację). W pracach [A9 – A10], na przykładzie mułowcowo – ilastych utworów syluru i ordowiku, realizowałam zadanie wydzielenia poziomów jednorodnych pod kątem własności petrofizycznych, w szczególności zbiornikowych. Do realizacji celu wykorzystywałam podstawowe profilowania geofizyki otworowej (oporności, gęstości, indeksu absorpcji fotoelektrycznej, czasu interwałowego, naturalnej promieniotwórczości i porowatości neutronowej). Analizę zbioru danych wykonałam w oparciu o dostępne wyniki kompleksowej interpretacji (skład mineralny, porowatość, nasycenia wodą i węglowodorami) i wyniki badań laboratoryjnych (zawartość TOC). W pracach [A9 – A10], na podstawie analiz wykonanych na materiale z kilku otworów wiertniczych, pokazałam, że samoorganizujące sieci Kohonena są efektywnym narzędziem do określenia rozkładu elektrofacji. Spośród uzyskanych wydzieleni z łatwością można wskazać te elektrofacje, które mają największy potencjał akumulacji węglowodorów i/lub mają najlepsze własności zbiornikowe. W wyniku zastosowania sieci Kohonena, podział interwałów gęłokościowych zinterpretowano również pod kątem składu mineralnego, wydzielaając i charakteryzując odrębność poszczególnych klastrów. Analiza z wykorzystaniem uczenia bez nadzoru pozwoliła scharakteryzować dokładnie poziomy określone mianem *sweet spots*, czyli ogniwo z Jantaru i formację z Sasina w profilu utworów syluru i ordowiku na wyniesieniu Łeby. W efekcie ukazałam niejednorodność tych formacji wraz z dokładnym wyznaczeniem gęłokości, gdzie jest największe prawdopodobieństwo występowania węglowodorów. Sieć nauczoną na przykładzie wybranego otworu, zaaplikowałam następnie do prognozowania rozkładu elektrofacji w sąsiednich otworach. Walidacja wyników prognozowania wykazała słuszność wydzieleni. Oznacza to, że założony cel naukowy został zrealizowany a **metody statystyczne i metody sztucznej inteligencji okazały się efektywnym uzupełnieniem standardowych interpretacji danych petrofizycznych.**

4.4.3. Charakterystyka publikacji [A1 – A10], wchodzących w skład osiągnięcia

[A1] Klasyfikacja parametrów zbiornikowych formacji mioceńskich z wykorzystaniem podejścia fraktalnego do interpretacji profilowań geofizyki otworowej, porozymetrii rtęciowej i magnetycznego rezonansu jądrowego

W pracy [A1] przedstawiono metodologię klasyfikacji skał uwzględniającą litologię i parametry zbiornikowe cienkowarstwowych utworów mioceńskich z obszaru zapadliska przedkarpackiego (otwór J4, interwał głębokościowy 153.5–1825 m) na podstawie wyników analizy fraktalnej (wykonanej dla parametrów z profilowań geofizyki otworowej) zintegrowanych z wynikami pomiarów laboratoryjnych na próbkach skał (porozymetria rtęciowa, MICP i magnetyczny rezonans jądrowy, NMR).

Jako parametr klasyfikacyjny, wybrano wymiar fraktalny D_2 (Arizabalo et al., 2004, Browaeyns and Fomel, 2009, Dolan et al., 1998, Lopez and Aldana, 2007). Obliczenia wykonano na zbiorze wyników profilowań geofizyki otworowej (w całym interwale: EN16, EN64, EL18, EL28, LL3, GR, NPHI, DT, CALI w interwale 911.25 – 1825, dodatkowo: HO01-HO12) oraz wynikach interpretacji i obliczeń (PHI, VCL, VSAND, SW, SX0, VP, VS). Największy zakres zmienności D_2 uzyskano dla EN64, najmniejszy dla GR. Uzyskano podział (wg głębokości) wejściowego zbioru danych na cztery klastry. W celu zróżnicowania klastrów, wyznaczonych na podstawie D_2 , obliczono statystyki opisowe i histogramy.

Najbardziej jednorodna grupa, piaskowcowa, charakteryzuje się najwyższą porowatością PHI (21 – 28 %), co odzwierciedla najwyższą średnią D_2 (0.82 – 0.85) i najmniejszy stopień zmienności D_2 (0.24 – 0.53). Grupę tę tworzą utwory o niewielkim zaileniu (VCL w zakresie 0 – 30 %), w rozkładzie D_2 skutkuje to najwyższymi średnimi wartościami (0.82 – 0.85) i stopniem zmienności D_2 wynoszącym 0.24 – 0.42. Drugi klaster, ilasty, charakteryzuje się największą dyspersją wszystkich zmiennych. Charakteryzuje go niska porowatość PHI (0 – 7%) i wysokie zailenie VCL (61 – 85%). W dwóch kolejnych klastrach zawarte zostały utwory piaszczysto-ilaste i ilasto-piaszczyste. Dla tych grup zailenie zmienia się z zakresie 30 – 60 %, a PHI wynosi odpowiednio 14 – 21 % i 7 – 14 %. Wykresy rozrzutu potwierdzają zmienność parametrów fraktalnych w analizowanym zbiorze, tym samym potwierdzając heterogeniczność analizowanej formacji. Analiza statystyk opisowych i ich zależności od przynależności do grupy, wykazała, że rozkład parametrów staje się niejednorodny dla dużego stopnia zmienności D_2 - przy spadku wartości średniego D_2 rośnie stopień zmienności D_2 . Statystyki opisowe, ukazujące rozkłady wartości profilowań GR, VP, VS, NPHI, VCL, VSAND, PHI, SW, potwierdziły wyniki analiz fraktalnych. W kolejnym kroku przeanalizowano zależność D_2 od składu mineralnego i nasycenia. Wydzielono klastry: piaskowcowy, o dużym nasyceniu gazem (50 – 65 %) – grupa charakteryzuje się średnim D_2 z przedziału 0.77 – 0.88 i stopniem zmienności D_2 0.22 – 0.33 oraz ilasty, o średnim D_2 z przedziału 0.82 – 0.87 i stopniem zmienności D_2 0.75 – 1. Klaster ilasty charakteryzuje się jednakże zmiennym nasyceniem (SW od 35 do 86 %), co świadczy o tym, że gaz może być zakumulowany również w warstwach ilastych.

Wyniki dwóch metod badań laboratoryjnych połączono w celu poprawy oceny porowatości i zdolności hydraulicznych badanych skał (Coates et al., 1999, Webb, 2001). Rezultaty skorelowano z wynikami analizy fraktalnej. Charakterystyki skumulowanej objętości rtęci w funkcji średnicy porów (MICP) oraz skumulowanej porowatości w funkcji rozkładu czasów relaksacji poprzecznej (NMR), potwierdziły, że klaster piaskowcowy, nasycony gazem ma najwyższe porowatości (wysoka porowatość efektywna (20.58 – 22.33 % z MICP) i dynamiczna oraz wysokie nasycenie wodą wolną z NMR) i największą zdolność do ruchu mediów (duża zawartość wody wolnej z NMR i przepuszczalność z MICP).

Dodatkowo, w oparciu o analizę kształtu rozkładów czasów relaksacji T2, wyróżniono grupy jednorodne pod kątem charakterystyki przestrzeni porowej. Rozróżniono pięć klastrów. Wyniki

analizowano pod kątem porowatości Φ i zawartości wody ruchomej K_{pmov} . Średnie wartości w wyróżnionych grupach przedstawiają się następująco: 1 – Φ (4.25 %) i K_{pmov} (0.12 %); 2 – Φ (19.73 %) i K_{pmov} (0.83 %); 3 – Φ (22.18 %) i K_{pmov} (0.46 %); 4 – Φ (18.38 %) i K_{pmov} (2.39 %); 5 – Φ (21.16 %) i K_{pmov} (4.65 %). Wyniki potwierdzają klasyfikację analizy fraktalnej. Migracja gazu jest możliwa w klastrze piątym, ze względu na poziom wody ruchomej.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że wymiar fraktalny dla cienkowarstwowych utworów mioceńskich jest dobrym narzędziem, do klasyfikacji i identyfikacji poziomów o różnych własnościach zbiornikowych (porowatość, przepuszczalność, skład mineralny, nasycenie gazem), chociaż nie pozwala na pełną interpretację geologiczną.

[A2] Wyznaczenie parametrów zbiornikowych utworów mioceńskich na podstawie zintegrowanej interpretacji wyników badań laboratoryjnych porozymetrii rtęciowej i magnetycznego rezonansu jądrowego

Celem pracy [A2] było zintegrowanie wyników różnych badań laboratoryjnych i określenie powiązań między nimi. Zbiór danych zawierał wyniki badań laboratoryjnych na 52. rdzeniach, pobranych z czterech otworów wiertniczych (C2, C3, C5k, M1), odwierconych w złożu gazu, w interwale głębokościowym nasyconych gazem, cienkowarstwowych, piaszczysto – ilastych formacji mioceńskich (Karnkowski, 1999, Myśliwiec, 2004a, Myśliwiec 2004b, Oszczytko et al., 2008). Analizowano parametry: gęstość objętościowa (δ_{HePyc} i δ_{MICP}), porowatość całkowita (Φ_{HePyc} i Φ_{NMR}), przepuszczalność absolutna (K), zawartość pierwiastków promieniotwórczych (K, U, Th), skład mineralny (na podstawie XRD), porowatość dynamiczna i zawartość wody wolnej (FFI), zawartość wody nieredukowalnej (S_{WIRR}), zawartość wody kapilarnej (KP2), objętość wtłoczonej rtęci (Bv), powierzchnia właściwa, średnia średnica porów (Dm), porowatość efektywna (Φ_{MICP}). Analizowano również surowe dane pomiarowe (zmiany parametrów w czasie kolejnych kroków pomiarowych), obliczono hiperbole Thomeera i parametr Swansona (S).

Jednym z celów analizy petrofizycznej było zbudowanie relacji między parametrami określonymi na podstawie porozymetrii rtęciowej (MICP) i magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), a także predykcja parametrów jednej metody na podstawie wyników pomiarów tej drugiej. Zwrócono również uwagę na określenie czynników charakteryzujących przestrzeń porów, które zasadniczo są trudne do parametryzacji. Możliwość określenia przepływu płynu była kluczowym zadaniem dla cienkowarstwowej formacji mioceńskiej.

Na podstawie kształtów sygnałów MICP, hiperboli Thomeera i rozkładów NMR stworzono trzy grupy jednorodne pod kątem analizowanych parametrów i własności zbiornikowych: grupa 1 – charakteryzuje się najmniejszymi Bv, Φ_{MICP} i K oraz dużym udziałem S_{WIRR} i KP1; grupa 2 – średnie wartości Bv, Φ_{MICP} i K oraz duży udział KP2; grupa 3 – wysokie Bv, Φ_{MICP} , K, i KP3. Interpretacja: grupa 1 – słabe własności zbiornikowe, głównie iłowce/mułowce; grupa 2 – pośrednie własności zbiornikowe, utwory piaszczysto-ilaste; grupa 3 – piaskowce, o dobrych własnościach zbiornikowych.

Dla rezultatów pomiarów NMR i MICP znaleziono nowe parametry T2LM, A_{v_amp} i $SQRT(K/\delta_{HePyc})$ (w oparciu o analizy statystyczne surowych danych pomiarowych) i określono nowe zależności. Z całkowitego sygnału NMR obliczono średnią logarytmiczną rozkładu (T2LM), która wysoko koreluje z logarytmem przepuszczalności. Wzrost przepuszczalności powoduje wzrost T2LM, co związane jest z dużym czasem relaksacji T2 (dla pojedynczych pików lub całego sygnału). Wyznaczono również średnią wartość amplitudy sygnału NMR A_{v_amp} i zaobserwowano jej korelację z przepuszczalnością. Współczynnik zbiornikowy $SQRT(K/\delta_{HePyc})$, wyznaczony jako pierwiastek ilorazu przepuszczalności i gęstości objętościowej, wysoko koreluje z przepuszczalnością i porowatością oraz ze średnią logarytmiczną rozkładu T2LM. Uzyskane relacje potwierdziły twierdzenie, że niewielka porowatość

i małe średnice porów w klastrze utworów ilastych, nie biorą udziału w transporcie płynów, odbywa się on tylko w poziomach piaskowcowych.

Metody zastosowane przy ocenie właściwości petrofizycznych, badania i analizy formacji mioceńskich dostarczyły zależności, które można rozszerzyć na zakresy charakterystyczne dla niekonwencjonalnych skał zbiornikowych. Określenie charakteru i wielkości przestrzeni porowej formacji skalnych jest podstawą do prognozy przepuszczalności i ekstrapolacji tej relacji na sąsiednie złoża. Uzyskane relacje mogą być bezpośrednio wykorzystane do obliczenia przepuszczalności (parametr ten nie jest bezpośrednio mierzony metodami MICP i NMR).

[A3] Estymacja porowatości i parametrów przepływowych dla celów hydrogeologicznych, na podstawie wyników pomiarów parametrów sprężystych, na przykładzie jurajskich skał węglanowych

Artykuł [A3] zawiera opracowanie zależności między parametrami sprężystymi, zmierzonymi na próbkach rdzeni wapieni, dolomitów i margli jurajskich, pobranych z poziomów wodonośnych (57 próbek) a porowatością i przepuszczalnością. Dane wejściowe, które integrowano w pracy, pochodzą z pomiarów hydrogeologicznych (hydr) i petrofizycznych (petr). Do analiz wykorzystano także modele, stosowane standardowo w odniesieniu do profilowań geofizyki otworowej (oparte na prędkości fal sprężystych, np. model Wylliego, model Raymera-Hunta-Gardnera i oparte na pomiarach gęstości) (Raymer et al. 1980, Plewa i Plewa, 1992, Prasad et al., 2002, Rider, 2002).

Próbki przebadano pod kątem anizotropii prędkości (próbki wycięte prostopadle i równolegle do kierunku wiercenia). Wykazano, że szczeliny, którymi może migrować woda, zlokalizowane są równolegle do kierunku wiercenia. Analiza wzajemnych korelacji między gęstością objętościową (δ , petr), prędkością fali podłużnej (V_p , petr) i poprzecznej (V_s , petr) a porowatością otwartą (hydr) i współczynnikiem filtracji (hydr), pozwoliła na określenie parametrów szkieletu ($V_{p,ma,vertical} = 3013.8$ m/s, $V_{p,ma,horizontal} = 3059$ m/s, $V_{p,ma,vertical} = 1649.6$ m/s, $V_{s,ma,horizontal} = 1719.3$ m/s, $\delta_{ma,vertical} = 2.616$ g/cm³, $\delta_{ma,vertical} = 2.6137$ g/cm³ (petr) i 2.6805 g/cm³ (hydr)), niezbędnych do aplikacji modeli geofizyki otworowej. Efektem analiz była porowatość ogólna, obliczona dla wyników badań laboratoryjnych, ale na podstawie modeli opracowanych dla geofizyki otworowej. Następnie zweryfikowano poprawność uzyskanych wartości. Najbardziej wiarygodnym modelem do estymacji porowatości okazał się wzór wykorzystujący gęstość. Modele oparte na prędkości, Wylliego i Raymera-Hunta-Gardnera, dały gorsze wyniki. Przyczyną słabszego dopasowania tych modeli jest prawdopodobnie anizotropia prędkości.

Wielowymiarowe skalowanie wyników metod pomiarowych używanych przez specjalistów z różnych dyscyplin i stosowanie różnorodnych modeli teoretycznych daje nowe możliwości i pozwala na wydobywanie ukrytych informacji, często niewidocznych dla danej metody.

[A4] Wykorzystanie wielowymiarowych metod statystycznych do charakterystyki heterolitycznych utworów mioceńskich na podstawie profilowań geofizyki otworowej, przykład z zapadliska przedkarpackiego

W pracy zastosowano analizę składowych głównych (PCA) i analizę klastrową (CA) do identyfikacji heterolitycznych poziomów miocenu nasyconych częściowo gazem, na przykładzie dwóch otworów, C-2 i M-1 (Hotelling, 1993, Kaiser, 1960, MacQueen, 1967). W obu otworach, do analizy wybrano odpowiadające wykształceniem litofacjalnym stumetrowe interwały głębokościowe. Pomimo odpowiadającego sobie wykształcenia facjalnego, ekonomicznie opłacalny przepływ gazu zaobserwowano tylko w otworze C-2. Celem pracy była obserwacja różnic zapisu geofizyki otworowej i zastosowanie metod statystycznych do identyfikacji poziomów nasyconych gazem.

Do obliczeń wykorzystano profilownia geofizyki otworowej (CALI, DT, NPHI, RHOB, RXO, RT, PE, GRC, POTA, THOR, URAN, TURA, UPRA i TPRA) oraz wyniki kompleksowej interpretacji (Sw, SXO, SWI, K, VSAN, VCL). Należy podkreślić, że ze względu na cienkowarstwowość badanej formacji i ograniczoną rozdzielczość pomiarów otworowych, na surowych krzywych pomiarowych nie zauważono znaczącej różnicy zapisu w obu otworach – brak oczywistych wskazań nasycenia gazem w C-2 i jego braku w M-1.

Analiza histogramów rozkładu wartości poszczególnych profilowań w porównywanych otworach wykazała, że większość profilowań wykazuje podobny rozkład i zakres zmienności. Tylko profilowanie TPRA, określające stosunek zawartości toru do potasu wykazuje rozłączny zakres wartości. Wykresy krzyżowe K/Th potwierdziły, że w otworze C-2 dominuje illit i miki, natomiast w otworze M-1 występuje illit, montmorylonit i mieszane minerały ilaste.

PCA pozwoliła na redukcję liczby zmiennych i analizę parametrów zbiornikowych decydujących o zróżnicowaniu zapisu pomierzonych profilowań. W obu otworach, do dalszych analiz wybrano po cztery składowe główne. W otworze C-2 41.2 % wariancji zbioru wejściowego przeniesione zostało w pierwszej składowej głównej, związanej z profilowaniami porowatościowymi (NPHI, RHOB) i litologicznym (PE) i niosącymi informację o zaileniu (GRC, POTA, THOR). W drugiej składowej głównej zawarta została informacja o nasyceniu przestrzeni porowej (16.8 % wariancji, profilowania RT i RXO). Trzecia składowa główna koreluje wysoko z zawartością uranu (uran może być akumulowany w materii organicznej) i przenosi 16.5 % zmienności, natomiast czwarta koreluje z profilowaniem czasu interwałowego DT (10.1 % wariancji). W otworze M-1 w żadnej z składowych głównych nie wyizolowano profilowań związanych z nasyceniem. Profilowania oporności znalazły się razem z profilowaniami GRC, POTA, THOR, RHOB i PE w pierwszej składowej głównej (56.9 % wariancji). W przypadku braku nasycenia gazem profilowania RT i RXO mogą odzwierciedlać wzrost zawartości składnika piaszczystego i wzrost przepuszczalności. PC2 koreluje wysoko z profilowaniem DT (14.3 % wariancji), natomiast składowe trzecia i czwarta z zawartością uranu i zaileniem. Generalnie, przy nasyceniu wodą uzyskano lepszą reprezentację danych metodą PCA, niż w przypadku nasycenia gazem.

Analizę klastrową przeprowadzono na wynikach wyznaczonych składowych głównych. W efekcie grupowania metodami hierarchiczną i k-średnich, wydzielono trzy grupy w otworze C-2 i dwie w otworze M-1. Wydzielenia zinterpretowano w oparciu o wyniki standardowej interpretacji geofizyki otworowej. W otworze M-1 wydzielono grupy SH (iłowcowa) i SS (piaskowcowa), zróżnicowane przede wszystkim litologicznie, nie zauważono rozdziału związanego z nasyceniem. W otworze C-1 również wydzielono grupy iłowcowa i piaskowcowa. Dodatkowo, grupa piaskowcowa została rozdzielona pod kątem nasycenia. Interwały nasycone gazem zostały wyraźnie oddzielone od interwałów nasyconych wodą złożową.

Dla cienkowarstwowych poziomów miocenijskich, analiza składowych głównych i analiza klastrowa okazały się efektywnym narzędziem do identyfikacji poziomów różniących się litologią, porowatością, przepuszczalnością i nasyceniem. Zastosowane metody pozwoliły na automatyczne wydzielenie interwałów nasyconych węglowodorami. Uzyskane wyniki uwiarygodniły standardową interpretację profilowań geofizyki otworowej, często niejednoznaczną w cienkowarstwowych, monotonicznych litologicznie utworach piaskowcowo-iłowcowo-mułowcowych.

[A5] Analiza klastrowa parametrów geometrycznych uzyskanych z obrazów tomografii komputerowej, na przykładzie paleozoicznych skał węglanowych

W pracy [A5] do analiz statystycznych wykorzystano wyniki interpretacji obrazów tomograficznych (CT), uzyskanych dla niskoporowatych i niskoprzepuszczalnych próbek wapieni i dolomitów (Akbar *et al.* 1995, Arns *et al.*, 2005).

Z użyciem prostych statystyk przeanalizowano relację porowatości, obliczonej na podstawie objętości obiektów zidentyfikowanych w skali szarości na obrazie CT jako pory, z porowatością wyznaczoną innymi metodami (magnetyczny rezonans jądrowy, piknometria helowa) (Tiab and Donaldson, 2000). Scharakteryzowano możliwe przyczyny rozbieżności wyników: różne podstawy fizyczne i różna rozdzielczość metod do identyfikacji rozmiarów porów.

Bazując na parametrach geometrycznych obrazów CT wydzielono sześć grup, różniących się przede wszystkim rozmiarami porów. Analizę ilościową przeprowadzono w grupach i dla całych obrazów. Stwierdzono, że duża liczba obiektów (porów) nie pociąga dużej porowatości. Zatem, w analizowanych skałach mogą dominować obiekty o najmniejszych rozmiarach – obiekty niepołączone, dające niską przepuszczalność. Analizując obliczone dla obrazów parametry takie jak: średnica Fereta, powierzchnia właściwa czy grubość kanalików stwierdzono podział na dwie grupy, zarówno wśród próbek wapieni jak i dolomitów. Wapienie charakteryzują się wyraźnym podziałem: dla części próbek ze wzrostem grubości kanalików stosunek powierzchni właściwej do średnicy Fereta rośnie, dla pozostałych próbek maleje. Dla wszystkich dolomitów relacja jest malejąca, z wyraźnym podziałem na dwie podgrupy.

Badając zależności między wynikami standardowych pomiarów petrofizycznych i analiz obrazów CT, znaleziono równania pozwalające na określenie związku parametrów przepływu (FZI, Flow Zone Index) z parametrami geometrycznymi, wyznaczonymi z CT (Amaefule et al., 1993). Związki te mogą służyć do predykcji przepuszczalności na podstawie obrazów CT dla niskoporowatych i niskoprzepuszczalnych skał węglanowych.

[A6] Zastosowanie analizy czynnikowej do charakterystyki skał na podstawie wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej, na przykładzie sylurskich i ordowickich skał łupkowych

Analizę czynnikową wykorzystano do petrofizycznej interpretacji profilowań geofizyki otworowej i wyników badań laboratoryjnych, dla danych z trzech otworów wiertniczych, zlokalizowanych w obrębie lądowej części basenu bałtyckiego. W otworze W-1 przetestowano dobór zestawu parametrów do analiz oraz możliwość interpretacji uzyskanych wyników. Następnie, doświadczenie to przeniesione zostało na kolejne dwa otwory. W klasycznej analizie czynnikowej jako metodę wyodrębniania czynników głównych wybrano metodę maksymalnego podobieństwa opartą na regresji wielorakiej. Testowano kilka technik rotacji: varimax, quartimax i equamax. W kolejnych krokach redukowano liczbę czynników.

Otwór W-1: wyniki analizowano dwutorowo, dla rozwiązania dziesięcio- i pięcioczynnikowego. Pierwszy czynnik skorelowany był wysoko z profilowaniami przenoszącymi informację o porowatości i własnościach sprężystych skał. Drugi czynnik przynosił informację o zaileniu i zawartości wody związanej w minerałach ilastych. Informacja o zawartości materii organicznej skupiona została w trzecim czynniku. W rozwiązaniu 10 – czynnikowym, część czynników nie została skorelowana z odrębną informacją geologiczną. Analogiczna analiza przeprowadzona dla danych z otworu W-3 pozwoliła na osiągnięcie podobnego schematu rozwiązania.

W następnym kroku połączono dane z trzech otworów, ale wybrano tylko te głębokości, dla których dostępne były wyniki badań laboratoryjnych i przeprowadzono dla takiego zbioru analizę czynnikową. Pierwszy czynnik przynosi informację o gęstości, prędkości i porowatości. Profilowania związane z zaileniem i zawartością wody związanej zawarte zostały w czynniku drugim. Rozszerzenie zbioru na wszystkie dostępne interwały głębokościowe, w tym próbki ogniwa z Jantaru i formacji z Sasina (traktowane jako potencjalne poziomy *sweet spots* (ang.)) skutkowało wydzieleniem w drugim czynniku informacji o zawartości materii organicznej.

Analizę czynnikową przeprowadzono następnie tylko w interwałach występowania bogatych w materię organiczną i potencjalnie nasyconych gazem mułowców/iłowców ogniwa z Jantaru i formacji z Sasina. Zgodnie z kryterium Kaisera do dalszych analiz wybrano sześć czynników, z czego trzy pierwsze miały ładunki czynnikowe powyżej $|0.7|$. Dla ogniwa z Jantaru największy wpływ na pierwszy czynnik miały gęstość, prędkość, porowatość i zawartość kerogenu. Drugi czynnik przynosił informację o zaileniu, a trzeci korelował wysoko z opornością. Dla formacji z Sasina w pierwszym czynniku zawarta została informacja o zaileniu, w drugim o porowatości, a w trzecim o zawartości materii organicznej. Stwierdzono, że w mułowcach/iłowcach ogniwa z Jantaru gaz przede wszystkim związany jest z obecnością kerogenu, podczas gdy w formacji z Sasina gaz występuje przede wszystkim w przestrzeni porowej.

Ostatnim krokiem badania było przeprowadzenie analizy czynnikowej tylko dla wyników badań laboratoryjnych. Analizowano 77 różnych parametrów. Najwięcej informacji przeniesionych do pierwszego czynnika związanych było z porowatością, współczynnikiem wymiany kationowej oraz zawartością pierwiastków budujących minerały z grupy illitu i smektytu. Drugi czynnik przynosił informację o zawartości Ca i Mg oraz zawartości węgla organicznego.

Podsumowując wyniki analizy czynnikowej, podobieństwo w konstrukcji czynników widoczne było dla wszystkich kombinacji danych. Zasadniczo dwa czynniki przynosiły informację związaną z najważniejszymi komponentami litologicznymi i opisującymi strukturę przestrzeni porowatej. Trzeci czynnik zawierał informację o specyficznych cechach formacji, np. objętości kerogenu, objętości gazu. Porównanie wyników uzyskanych dla badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej ujawniło podobieństwo w konstrukcji czynników i ich interpretacji geologicznej. Analiza zależności między liczbą zmiennych i liczbą próbek w zestawach danych pokazała, że istnieje zestaw zmiennych związanych z kluczową informacją przeniesioną przez czynniki główne. Mniejsza liczba czynników ułatwiła interpretację merytoryczną uzyskanych wyników analiz statystycznych.

[A7] Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji przepuszczalności z podstawowego zestawu wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej

W pracy [A7] zastosowano sztuczne sieci neuronowe (sieć MLP, ang. *Multilayer Perceptron*) do predykcji ciągłego profilowania przepuszczalności (*Aminzade and Groot, 2006, Huang et al., 1996, Iturraran and Parra, 2014, Tadeusiewicz, 1993*). Do nauczania sieci wykorzystano punktowe wyniki pomiarów przepuszczalności, wykonane przepuszczalnościomierzem gazowym na rdzeniach pobranych z interwału występowania łupków sylurskich i ordowickich. Sieć uczono dla danych z otworu A, natomiast predykcję wykonano dla dwóch pozostałych otworów B i C. Predykcję wykonano na podstawie zestawu standardowych profilowań geofizyki otworowej (GR, RHOB, NPHI, DT, LLD, LLS, MSFL, THOR, URAN, POTA, PE) oraz wyników pomiarów sondą XRMI.

Zastosowano trzy podejścia w doborze danych wejściowych: pierwsze, profilowania geofizyki otworowej jako dane wejściowe (K_ANN); drugie, dodanie do zbioru profilowań informacji o interwałach głębokościowych formalnych jednostek stratygraficznych (K_ANN1); trzecie, dodanie do zbioru profilowań informacji o interwałach głębokościowych występowania nieformalnych jednostek, formacji stratygraficznych (K_ANN2).

Najlepsze efekty uczenia uzyskano dla sieci MLP 16-10-1 (K_ANN2). Wyniki predykcji porównano w wynikami standardowej interpretacji przepuszczalności z wykorzystaniem modeli Zawiszy i Wyllie-Rose. Uzyskano wysoką zbieżność wyników, analiza kształtu i wartości krzywej przepuszczalności estymowanej na podstawie sieci neuronowej wykazała, że w większości analizowanego interwału głębokościowego sieć K-ANN2 dała bardzo dobre dopasowanie.

Na podstawie obliczonej przepuszczalności wyznaczono parametr przepływu FZI (*ang. Flow Zone Index*). Razem z wynikami standardowej interpretacji został on użyty do uczenia sieci. Sieć MLP 9-6-1 dała najlepsze efekty, zbliżone z wynikami sieci K_ANN2, która wykazała jednak lepsze dopasowanie do wyników pomiarów laboratoryjnych przepuszczalności (współczynnik determinacji 0.72).

Sieć K_ANN2 wykorzystano do predykcji przepuszczalności w dwóch sąsiednich otworach. Wyniki porównano z wartościami uzyskanymi z modelu Zawiszy (*Zawisza, 1993*). Współczynnik korelacji w obu otworach nie przekroczył 0.5. Trudno jednak jednoznacznie stwierdzić, który wynik jest bliższy wartościom rzeczywistej przepuszczalności ze względu na brak wyników pomiarów laboratoryjnych przepuszczalności w otworach B i C. Należy zauważyć, że współczynniki w empirycznym modelu Zawiszy zostały opracowane dla utworów mioceńskich z rejonu zapadliska przedkarpackiego, zatem użycie takiej zależności w utworach syluru i ordowiku z obszaru basenu bałtyckiego może być źródłem błędnego oszacowania przepuszczalności.

Sztuczne sieci neuronowe są dobrym narzędziem do estymacji parametrów zbiornikowych, które nie wykazują bezpośredniej, liniowej korelacji z wielkościami z profilowań geofizyki otworowej, pod warunkiem dysponowania wiarygodnych danych służących do uczenia sieci.

[A8] Zastosowanie metody wektorów nośnych i sztucznych sieci neuronowych do predykcji całkowitej zawartości węgla organicznego, przykład utworów ogniwa z Jantaru i formacji z Sasina

Głównym celem pracy [A8] było obliczenie ciągłego rozkładu całkowitej zawartości węgla organicznego (TOC, *ang. Total Organic Carbon*), na podstawie profilowań geofizyki otworowej, z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (sieć MLP, *ang. Multilayer Perceptron*) i metody wektorów nośnych (SVM, *ang. Support Vector Machine*) (*Basak et al., 2007, Charsky and Herron, 2013, Welling, 2006, Tadeusiewicz, 1993*). Do analizy wykorzystano około 100 zmiennych, m.in. standardowy zestaw profilowań geofizyki otworowej oraz wyniki interpretacji pomiaru sondą geochemiczną GEM (Schlumberger): skład pierwiastkowy, skład mineralny, porowatość i nasycenie. Testowano różne schematy i ostatecznie wybrano 16 profilowań wejściowych do predykcji TOC. Analizy wykonano dla danych z trzech otworów wiertniczych, zlokalizowanych w obrębie basenu bałtyckiego, dla interwałów występowania sylurskich i ordowickich poziomów zbiornikowych typu *shale gas*.

W pierwszym etapie sprawdzono korelację TOC (wynik analizy *RockEval*) z profilowaniami geofizyki otworowej. Najwyższą korelację otrzymano dla RHOB ($R = 0.86$) i DT ($R = 0.84$), co potwierdza skuteczność wykorzystania tych profilowań do obliczenia TOC, np. W metodzie Passey'a czy Schmokera.

W pierwszym kroku analiz zastosowano sieć MLP do uczenia danych z dwóch otworów wiertniczych Lu-1 i Bo-1. Najlepszy efekt uzyskano dla sieci MLP 16-12-1 z współczynnikami korelacji dla zbiorów uczącego, testowego i walidacyjnego, wynoszącymi odpowiednio: 0.92, 0.94 i 0.91. Współczynniki korelacji TOC uzyskanego z pomiarów i TOC estymowanego z wykorzystaniem sieci MLP wynoszą odpowiednio 0.85 i 0.84 dla Bo-1 i Lu-1.

W kolejnym kroku zastosowano metodę wektorów nośnych do estymacji TOC. Analizę wykonano w dwóch wariantach, dla 16 oraz 99 profilowań wejściowych. W wariacie pierwszym, lepsze wyniki uzyskano dla analizy otworów indywidualnie ($R = 0.94$ dla Bo-1), niż dla połączonych danych z dwóch otworów Bo-1 i Lu-1 ($R = 0.83$). W drugim wariacie analiz uzyskano podobne wyniki, jak w przypadku połączonych otworów w wariacie pierwszym. Uzyskane wyniki regresji SVM: *regresja typu 1* ($C = 10$, $\varepsilon = 0.1$, *kernel* – RBF, $\gamma = 0.012$, *liczba wektorów* - 43 (18 połączonych)).

Wyniki uzyskane przy użyciu zestawu standardowych profilowań (16), gdy liczba przypadków do uczenia była wystarczająco duża, są zbliżone do wyników opartych na wielu zmiennych wejściowych (99). Zastosowanie ANN i SVR pozwala na uzyskanie zadowalających wyników predykcji TOC, przy użyciu tylko standardowych profilowań, które okazały się dobrymi predyktorami TOC przy wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi statystycznych. Metody statystyczne pozwoliły uwolnić się od lokalnie wyznaczanych współczynników występujących np. w metodzie Passey'a.

[A9] Identyfikacja *sweet spotów* z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (sieć Kohonena), na przykładzie formacji typu *shale gas*

W pracy [9] skupiono się na realizacji trzech głównych celów: wyodrębnieniu formacji nasyconych gazem, klasyfikacji i charakterystyce wydzielonych poziomów. Samoorganizujące mapy (SOM, *ang. Self-Organized Maps*) oparte na algorytmie Kohonena (*ang. Kohonen Algorithm*) zostały wykorzystane do identyfikacji poziomów nasyconych gazem i określenia elektrofacji (oparte na podobieństwie własności fizycznych rejestrowanych podczas pomiarów otworowych) oraz ich charakterystyki petrofizycznej (*Tadeusiewicz, 1993, Yegnanarayana, 2006*). Do analiz wykorzystano niezależnie oprogramowania Statistica, firmy Statsoft (moduł ANN) oraz Techlog, firmy Schlumberger (moduł IPSOM). Analizę przeprowadzono dla standardowego zestawu profilowań geofizyki otworowej (CALI, GR, POTA, THOR, URAN, DT, RHOB, MSFL, LLS, LLD, NPFI, PE), w interwale głębokościowym 3736.5 – 3983 m, występowania poziomów sylursko – ordowickich: formacja z Pasłęka (PaFm), formacja z Pelplina (PeFm), ogniwo z Jantaru (JaMb), formacja z Prabut (PrFm), formacja z Sasina (SaFm), formacja z Kopalina (KoFm) i formacja z Słuchowa (SlFm). Podział stratygraficzny nie był brany pod uwagę podczas obliczeń, uczenia sieci i klasyfikacji. Dodatkowo, sprawdzono efekty klasyfikacji po dodaniu parametrów PHI (porowatość całkowita) i TOC (całkowita zawartość węgla organicznego).

Statystyki opisowe obliczone dla poszczególnych formacji stratygraficznych wykazały różnice w zakresie zmienności poszczególnych profilowań geofizyki otworowej, co pozwoliło na dalsze postępowanie. Testowano sieci Kohonena o różnych rozmiarach i parametrach, najlepsze rezultaty uzyskano dla sieci prostokątnej o rozmiarach 2x3, ANN 14-6 (Statistica) i sieci IPSOM 12-6 (Techlog).

Interpretacja wyników działania sieci Kohonena wykazała, że obie sieci wydzieliły podobne poziomy głębokościowe warstw, sieć IPSOM wykazała tendencję do tworzenia cieńszych wydzielań. W obrębie JaMb i SaFm obie sieci wykazały podobny podział – poziomy te różnią się od pozostałych i są zróżnicowane wewnątrz, charakteryzują się stosunkowo wysoką porowatością i podwyższoną zawartością TOC. W obu *sweet spotach* wyróżniono poziom o wysokim prawdopodobieństwie nasycenia gazem (w stropie) i poziom o gorszych własnościach (w spągu). Zauważono, że wydzielona elektrofacja 1, która występuje w obrębie PaFm, PeFm i PrFm charakteryzuje się wysoką zawartością TOC. Interwały głębokościowe występowania elektrofacji 1. powinny zostać szczegółowo rozpoznane pod kątem analizy macierzystości skały.

Porównanie wyników zastosowania sieci Kohonena z wynikami analizy klastrowej pokazało generalną zbieżność wyników wydzielań. Różnice dotyczyły przede wszystkim cienkich warstw. Wykorzystanie dwóch różnych programów komputerowych do aplikacji sieci Kohonena dało zróżnicowane wyniki pod kątem szczegółowości wydzielenia cienkich warstw (przewaga oprogramowania Techlog), ale nie ukazało wyraźnych różnic w interpretacji poszczególnych poziomów. Dodanie dwóch dodatkowych profilowań wejściowych wpłynęło na wzrost szczegółowości wydzielań. Samoorganizujące sieci Kohonena są efektywnym narzędziem do klasyfikacji elektrofacji. Pozwalają na wydzielenie poziomów o odmiennym składzie mineralnym, porowatości i nasyceniu.

[A10] Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do analizy elektrofacji, na przykładzie paleozoicznych formacji typu *shale gas*

W pracy [A10] skupiono się na zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji oraz porównano efekty aplikacji różnych metod: analizy klastrowej, metody wektorów nośnych i sieci Kohonena, do identyfikacji elektrofacji (Tadeusiewicz, 1993, Sebtosheikh, et al. 2015, Szabo et al., 2013, Wong et al., 2005, Yegnanarayana, 2006). Efektem analiz było utworzenie wzorca homogenicznych wewnętrznie poziomów i charakterystyka ich właściwości. Analizę wykonano dla standardowego zestawu profilowań geofizyki otworowej (GR, LLD, DT, NPHI, RHOB, PE) w interwale głębokościowym 2850 – 2950 m, obejmującym utwory syluru i ordowiku, w wybranym otworze wiertniczym.

W wyniku analizy klastrowej (niezależnie przeprowadzone metody hierarchiczna i k-średnich dały porównywalne wyniki) trzy podstawowe grupy zostały zidentyfikowane: grupa związana z interwałem występowania skał węglanowych, grupa mułowcowa/iłowcowa z nasyceniem wodą i grupa mułowcowa/iłowcowa z nasyceniem gazem. Bardziej szczegółowy podział pozwolił na wyróżnienie ośmiu elektrofacji. Największym zróżnicowaniem charakteryzowały się poziomy nasyczone gazem.

Uczenie bez nadzoru zastosowane w sieciach Kohonena pozwoliło na wyznaczenie generalnego podziału badanego interwału na cztery elektrofacje (SOM 6-4): 1. – sklasyfikowane próbki z przedziału głębokościowego JaMb (strop interwału) i SaFm (kilka poziomów) o średniej zawartości TOC 2.7 %wt; 2 – próbki należące do SaFm (strop formacji) i JaMb, o najwyższej zawartości TOC (średnia 4.5 %wt); 3 – interwał głębokościowy KoFm i stropowa część Pr Fm; 4 – interwał głębokościowy PaFm, spągowa część PrFm oraz spąg JaMb i SaFm.

Wyniki uczenia sieci SOM 6-4 zostały przetestowane z wykorzystaniem metody wektorów nośnych (SVM). Zbiór uczący stanowiło 80 % danych, natomiast zbiór testowy 20 % danych. Najlepsze rezultaty uzyskano zarówno dla jądra liniowego jak i RBF (*ang. Radial Based Function*). Powyżej 97 % przypadków zostało sklasyfikowanych identycznie jak w przypadku sieci Kohonena.

W kolejnym etapie wykonano szczegółową klasyfikację elektrofacji wyodrębnionych siecią Kohonena SOM 6-9. Wyniki scharakteryzowano pod kątem parametrów petrofizycznych i geologicznych. Elektrofację 1 budują próbki skał węglanowych (głównie KoFm (170 próbek) i część PrFm (29 próbek)), nasyczone wodą ($S_w > 88\%$), o bardzo niskim potencjale zbiornikowym. Elektrofacja 2 o niskim potencjale zbiornikowym to próbki stratygraficznie należące do PaFm (84 próbki) i SaFm (30 próbek), głównie zbudowane z illitu i kwarcu, nasyczone wodą ($S_w = 96\%$), o niewielkiej zawartości TOC (0.5 %wt). Elektrofacja 3, głównie zbudowana z illitu, obejmująca JaMb (37 próbek), SaFm i PaFm, o średnim potencjale zbiornikowym, charakteryzuje się średnią zawartością TOC wynoszącą 2.8 %wt i objętością gazu na poziomie 2 %. Próbki z interwałów głębokościowych PrFm, SaFm, PaFm i JaMb zostały sklasyfikowane jako elektrofacja 4, o niskim potencjale zbiornikowym, z niskim TOC, wynoszącym średnio 0.4 %wt. W obrębie PaFm (332 próbki) zidentyfikowana została elektrofacja 5, o wysokim nasyceniu wodą złożową (97 %) i niskim TOC (0.03 %wt). Elektrofacja 6 zbudowana głównie z illitu i kwarcu, obejmująca SaFm (32 próbki) i JaMb (19 próbek), charakteryzuje się wysoką porowatością ogólną (10 %), nasyceniem wodą wynoszącym 71 % i średnim TOC 1.2 %wt. Elektrofacja 7 obejmuje 43 próbki z interwału JaMb i 16 próbek z interwału SaFm, z nasyceniem wodą wynoszącym 70 % i średnim TOC równym 4.8 %wt. 84 próbki z interwału SaFm zostały sklasyfikowane do elektrofacji 8, o średnim TOC wynoszącym 2.7 %wt i $S_w = 74\%$. Do elektrofacji 9 zaliczone zostały 34 próbki z głębokości SaFm, o średnim nasyceniu wodą złożową wynoszącym 47 % i średnim TOC równym 5 %wt.

Za najbardziej perspektywiczne pod kątem występowania węglowodorów uznano elektrofacje 7 i 9. Elektrofacje 6, 3 i 8 charakteryzują się gorszymi własnościami zbiornikowymi i średnim potencjałem

zbiornikowym. Jako nieperspektywiczne pod kątem występowania węglowodorów uznano elektrofacje 1, 2, 4 i 5. Zaaplikowane metody klasyfikacji z wykorzystaniem sieci neuronowych okazały się efektywnym narzędziem do oceny perspektywiczności występowania węglowodorów, dla analizowanych poziomów.

4.4.4. Podsumowanie

Obecnie, na świecie obserwuje się intensywne wykorzystywanie sztucznej inteligencji do wspomagania interpretacji danych geofizycznych. Zaproponowana metodyka jest nowym podejściem w analizie danych otworowych, dotychczas niestosowanym rutynowo przez polskie firmy naftowe. W pracach [A1 – A10], wybranych do cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zostały przedstawione wyniki zintegrowanej analizy wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej, z wykorzystaniem metod statystycznych (prostych i wielowymiarowych) i sztucznych sieci neuronowych.

Prace [A1 – A3] dotyczą przede wszystkim połączenia wyników pomiarów, wykonanych z wykorzystaniem różnorodnych metod badawczych, na próbkach rdzeni wiertniczych. Przedstawione opisy metod badawczych i zastosowane metody statystyczne ukazują możliwości wyodrębnienia nowych, często nieoczywistych parametrów, które poszerzają zakres interpretacji merytorycznej analizowanych danych. Przeniesienie modeli interpretacyjnych z geofizyki otworowej do analizy wyników badań laboratoryjnych pozwala na włączenie do zestawu danych o własnościach skał, nowych nieobserwowalnych bezpośrednio parametrów [A3]. Zastosowanie statystyk opisowych pozwoliło na uporządkowanie informacji i ocenę rozkładów parametrów petrofizycznych klastycznych skał mioceńskich [A1 – A2] oraz wapieni i dolomitów jurajskich [A3].

Wielowymiarowe metody statystyczne, takie jak klasyczna analiza czynnikowa czy analiza składowych głównych, prezentowane w pracach [A4 – A6], miały na celu redukcję liczby zmiennych, znalezienie czynników geologicznych, odpowiadających za zmienność analizowanego zbioru danych (wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej) oraz wydzielenie grup jednorodnych pod kątem własności petrofizycznych. Wprowadzenie wielowymiarowych analiz statystycznych okazało się efektywną metodą dla realizacji przedstawionych wyżej celów. Dało pozytywne rezultaty w różnych zbiorach danych: cienkowarstwowych formacji mioceńskich z rejonu zapadliska przedkarpackiego [A4], trójwymiarowych obrazów przestrzeni porowej, uzyskanych z pomiarów tomografii komputerowej, skał permskich węglanowych [A5], oraz formacji łupkowych syluru i ordowiku z obszaru basenu bałtyckiego [A6].

Kolejnym etapem zaawansowania stosowanych metod badawczych było włączenie do analiz sztucznych sieci neuronowych. W pracach [A7 – A8] testowano sieci MLP do predykcji przepuszczalności [A7] i całkowitej zawartości węgla organicznego [A8], na podstawie standardowego zestawu profilowań geofizyki otworowej. Walidacja uzyskanych wyników pozwoliła na stwierdzenie, że sieci MLP dają możliwość poprawnej estymacji parametrów, które nie są bezpośrednim wynikiem pomiarów geofizyki otworowej. Samoorganizujące sieci Kohonena zostały w pracach [A9 – A10] zaaplikowane do klasyfikacji poziomów jednorodnych i wyznaczenia elektrofacji. W obu tych pracach analizy wykonane zostały dla danych z różnych otworów wiertniczych, w interwałach występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów typu *shale gas*. Efektem uczenia sieci Kohonena było: wydzielenie poziomów nasyconych gazem z całego badanego interwału utworów syluru i ordowiku; wyznaczenie interwałów o wysokim, średnim i niskim potencjale zbiornikowym; wyznaczenie interwałów o wysokiej zawartości materii organicznej; oraz charakterystyka właściwości petrofizycznych i parametrów zbiornikowych wydzielonych elektrofacji.

Na każdym etapie, zdawałam sobie sprawę z konieczności spełnienia warunków normalności rozkładów wykorzystywanych parametrów. Założyłam, że przy odpowiednio licznej próbie, fizycznie mierzalne wielkości charakteryzujące skały spełniają ten warunek.

W cyklu artykułów [A1 - A10] zaprezentowałam swój rozwój naukowy oraz pokazałam doskonalenie warsztatu badawczego. Udział w wielu (27) projektach badawczych dał mi dostęp do dużej liczby danych, możliwość testowania różnych rozwiązań ale przede wszystkim pozwolił na wymianę pomysłów i doświadczeń z geologami, sedimentologami, geofizykami czy fizykami. Pokazałam zastosowanie metod statystycznych, popularnych i efektywnych w różnych dziedzinach i dyscyplinach w sposób metodyczny. Opracowałam metodologię na przykładzie różnorodnych skał z przekonaniem, że może być zastosowana przy badaniu innych obiektów. Wykorzystałam szansę, jaką daje geofizyka otworowa z ogromną liczbą nieredundantnych danych.

Za osiągnięcia naukowe, zostałam nagrodzona (Załącznik 10): **zespołową nagrodą (II stopnia)** Rektora AGH za osiągnięcia naukowe w 2013 r.; **indywidualną nagrodą (III stopnia)** Rektora AGH za osiągnięcia naukowe w 2015 r.; **zespołową nagrodą (III stopnia)** Rektora AGH za osiągnięcia naukowe w 2016 r. i **zespołową nagrodą (III stopnia)** Rektora AGH za osiągnięcia naukowe w 2018 r.

Starłam się podkreślić, że zintegrowana, wielowymiarowa interpretacja wyników badań laboratoryjnych i profilowan geofizyki otworowej, pozwala nie tylko na pełną charakterystykę właściwości petrofizycznych, ale też ukazuje często niemierzalne cechy geologiczne badanej skały. Zarówno proste statystyki opisowe, jak też wielowymiarowe metody eksploracji danych, pozwalają na wyodrębnienie ukrytych, intuicyjnie oczekiwanych ale niemożliwych do pomierzenia cech badanych obiektów. Na przykładzie szerokiego spektrum badanych obiektów: piaszczysto-ilastych utworów miocenijskich, jurajskich skał węglanowych i formacji łupkowych syluru i ordowiku oraz przy różnorodnym doborze zestawów danych wejściowych do analiz, chciałam pokazać uniwersalność stosowanych metod statystycznych.

Jestem głęboko przekonana, że proponowana przeze mnie metodyka analizy danych petrofizycznych, z powodzeniem może być aplikowana do innych metod geofizycznych: sejsmiki, metod elektrycznych i elektromagnetycznych oraz pól potencjalnych.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

5.1. Instytucje zagraniczne

W latach 2016 – 2019 byłam głównym wykonawcą i członkiem pięciosobowego zespołu badawczego w projekcie badawczym [PB2]: *Nowatorska metodyka interpretacji niekonwencjonalnych złóż ropy i gazu z wykorzystaniem wyników rentgenowskiej tomografii komputerowej*, finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Lider VI. Jednym z efektów prac zespołu badawczego było wytworzenie oprogramowania poROSE do jakościowej i ilościowej interpretacji obrazów materiałów porowatych. Mój udział w wytworzonym oprogramowaniu wynosi 17%. Realizacja zadań projektu, promocja oprogramowania i uzyskanych efektów prac doprowadziła do zawarcia współpracy w zakresie interpretacji pomiarów rentgenowskiej tomografii komputerowej, użytkowania i tworzenia nowych modułów programu poROSE z ośrodkami i uczelniami zagranicznymi. Byłam członkiem zespołu badawczego, współpracującego z:

1. **Eni: energy company, Co.** (Mediolan, **Włochy**), **Francesco Radaelli** (Technical Leader Experimental Petrophysics);
2. **International Geothermal Centre, Hochschule Bochum** (Bochum, **Niemcy**), **prof. Erik Saenger**;
3. **Volume Graphics GMBH** (Heidelberg, **Niemcy**), **Frederick Arand** (programista). Firma jest producentem jednego z najlepszych programów do analizy danych rentgenowskiej tomografii komputerowej – VG Studio. Frederick Arand wspomógł nasz zespół w utworzeniu modułu w programie poROSE do wyznaczania, tzw. osi centralnej obiektu, która parametryzuje główny kanał przepływu płynu w przestrzeni porowej skały. Moduł w programie poROSE nazywa się *Skeletonization* -> *Central axis*. Udział Frederika Arand w utworzeniu modułu jest wpisany w dokumentację programu poROSE, przekazywaną wraz z plikami instalacyjnymi.
4. **University of Miskolc** (Miskolc, **Węgry**), **prof. dr. Michaly Dobroka**, **prof. dr. Norbert Szabo**.

Wymiana doświadczeń naukowych z **prof. Erikiem Saenger** (obecnie **International Geothermal Centre, Hochschule Bochum, Niemcy**, wcześniej **University of Lausanne, Szwajcaria**) rozpoczęła się w 2014, w Lozannie (Szwajcaria) podczas **[K13] Minisymposium on Poroelasticity na Uniwersytecie w Lozannie, International Symposium 2014**, gdzie prezentowałam wyniki swoich badań, a profesor Saenger był jednym z organizatorów minisymposium.

Współpraca naukowa z **prof. dr. Michaly Dobroka** i **prof. dr. Norbertem Szabo** rozpoczęła się jeszcze w czasie studiów doktoranckich (w ramach realizacji własnego projektu badawczego **[PB17] Podwyższenie efektywności analizy własności petrofizycznych skał przy wykorzystaniu magnetycznego rezonansu jądrowego**, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonałam pomiary na próbkach rdzeni wiertniczych w laboratorium **University of Miskolc**). Kontynuacją współpracy było zaproszenie i wymiana doświadczeń naukowych w ramach konferencji, która odbyła się w Miskolcu w 2012 roku, **[K16] Conference and Exhibition on Earth Sciences and Environmental Protection** (1 poster - autor, 1 referat - współautorstwo). W 2017 roku, w ramach programu **Erasmus+** (2017-1-PL01-KA103-036822) odbyłam w University of Miskolc, pod kierownictwem prof. dr. Norberta Szabo i prof. dr. Michaly Dobroki, szkolenie: *Training in petrophysics and well logging* (Załącznik 10). Głównym celem szkolenia była nauka nowych metod przetwarzania i interpretacji danych geofizycznych.

Wymiana doświadczeń naukowych z **prof. dr. Niną Gugenhuber**, była impulsem do wyjazdu w ramach programu LLP-Erasmus, w 2013 roku do **Montanuniversität**, Leoben, Austria (Załącznik 10). Głównym celem mojego pobytu było prowadzenie wykładów dla studentów Montanuniversität z petrofizyki i geofizyki otworowej, ale też wymiana doświadczeń z pracownikami laboratoriów Montanuniversität i Joanneum Research Institute.

Wyjazd do **Norwegian University of Science and Technology (NTNU)**, Trondheim, Norwegia, w 2012 w ramach programu LLP-Erasmus (Załącznik 10), był skutkiem nawiązania współpracy z **dr. Helge Langelandem**. W ramach wyjazdu, prowadziłam wykłady dla studentów NTNU, wykład dla pracowników laboratorium firmy Numerical Rocks, wykład dla pracowników Statoil Research Center, oraz uczestniczyłam w kursie *Carbonate Reservoir Characterization*, przeprowadzonym przez pracowników firmy Statoil.

W ramach członkostwa w międzynarodowych organizacjach **European Association of Geoscientists & Engineers, EAGE** (członkostwo od 2007 roku) oraz **Society of Core Analyst, SCA, chapter of Society of Petrophysicist and Well Log Analyst** (dożywotnie członkostwo, numer członkowski 4194), mam możliwość uczestnictwa w dorocznych konferencjach i sympozjach oraz wymiany doświadczeń w kontekście wielowymiarowej analizy skał, z wieloma wybitnymi petrofizykami z całego świata.

5.2. Instytucje krajowe

1. Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie

W okresie pracy naukowej moje ścieżki badawcze wielokrotnie prowadziły do współpracy z pracownikami Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego w Krakowie. W okresie przed doktoratem, dzięki życzliwości Pani Dyrektor, **prof. dr hab. inż. Marii Ciechanowskiej**, miałam możliwość odbyć praktyki w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej, gdzie wykonywałam pomiary na rdzeniach, wykorzystując nowoczesny sprzęt. Jestem też autorem opracowań (rozdziały w monografiach INiG-PIB, [RM7-RM8]) wykonanych na zlecenie INiG-PIB: [E10] Opracowanie: *Omówienie zależności prędkości propagacji fali podłużnej i poprzecznej od nasycenia* oraz [E11] Opracowanie: *Przegląd aktualnie stosowanych modeli wiążących przepuszczalność skały i nasycenie wodą nieredukowalną z parametrami wyznaczonymi z pomiarów geofizycznych*. Po obronie doktoratu, w 2012 roku (styczeń – luty) odbyłam w INiG-PIB **staż naukowy**, w Zakładzie Geologii i Geochemii oraz Zakładzie Geofizyki Wiertniczej (Załącznik 10). W 2016, na zlecenie INiG-PIB wykonałam *analizę prędkości propagacji fal ultradźwiękowych typu P i S na próbkach skał* [E7] (Załącznik 10). W 2018 roku, podczas Międzynarodowej Konferencji Geopetrol [K5]: *Rozwój technik poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów, Zakopane–Kościelisko*, organizowanej przez INiG-PIB, prowadziłam sesję referatową *1.3. Profilowania Geofizyki wiertniczej oraz parametry petrofizyczne z różnej perspektywy*.

Wieloletnia współpraca w zakresie interpretacji wyników badań laboratoryjnych, prowadzona z **dr. inż. Markiem Dohnalikiem**, kierownikiem Zakładu Geofizyki Wiertniczej (w zakresie rentgenowskiej tomografii komputerowej oraz jej integracji z wynikami badań geomechanicznych), **dr. inż. Grzegorzem Leśniakiem**, kierownikiem Zakładu Geologii i Geochemii (w zakresie rentgenowskiej tomografii komputerowej) a także Katarzyną Drabik i Renatą Cicha-Szot (w zakresie rentgenowskiej tomografii komputerowej) oraz Jolantą Klają (w zakresie NMR), pozwoliła mi na wymianę doświadczeń i możliwość poszerzenia wiedzy.

Efektom wspólnych projektów, dyskusji i analiz jest szereg publikacji i wystąpień konferencyjnych:

- [P4] Jarzyna, J.A., Krakowska, P., Puskarczyk, E., Wawrzyniak-Guz, K., Bielecki, J., Tkocz, K., Tarasiuk, J., Wroński, S., Dohnalik, M., X-ray computed microtomography – a useful tool for petrophysical properties determination, *Computational Geosciences*, 2016, **20(5)**, 1155–1167
- [P2] Krakowska, P., Puskarczyk, E., Jędrzychowski, M., Habrat, M., Madejski, P., Dohnalik, M., Innovative characterization of tight sandstones from Paleozoic basins in Poland using X-ray computed tomography supported by nuclear magnetic resonance and mercury porosimetry, *Journal of Petroleum Science & Engineering: an International Journal Devoted to Integrated Reservoir Studies*, 2018, **166**, 389–405
- [RM2] Leśniak, G., Cicha-Szot, R., Dohnalik, M., Krakowska, P., Puskarczyk, E., Habrat, M., Jakaitė, L., Parametry petrofizyczne sylurskich utworów rafowych, *Geopetrol 2018: rozwój technik poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów, Kraków: Instytut Nafty i Gazu - Państwowy Instytut Badawczy*, Kraków, 2018, 319–325
- [AK3] Dohnalik, M., Krakowska, P., Puskarczyk, E., Drabik, K., Dual energy computed tomography (DECT) application in rock core examination, CAGG-AGH-2019 [Dokument elektroniczny]: “Challenges in Applied Geology and Geophysics: 100th anniversary of applied geology at AGH University of Science and Technology”: international scientific conference: 10-13 September 2019, Kraków: book of abstracts / eds. Jarzyna, J., Krakowska-Madejska, P., Sowizdżał, A.; AGH. — Kraków: AGH University of Science and Technology, cop. 2019. — S. [1-2]
- [AK67] Puskarczyk, E., Krakowska P., Dohnalik M., Combination of computed X-ray tomography and triaxial geomechanical tests as a tool for fracture propagation prediction, // W: SCA Annual Symposium 2019: the 33rd international symposium of the Society of Core Analysts: 26 – 30 sierpień, 2019, Pau, Francja
- [AK69] Krakowska P., Puskarczyk, E., Habrat M., Jędrzychowski M., Madejski P., Dohnalik M., Computed X-ray tomography data in multiple linear regression analysis on tight rocks for permeability estimation, // W: SCA Annual Symposium 2019: the 33rd international symposium of the Society of Core Analysts: 26 – 30 sierpień, 2019, Pau, Francja
- [AK18] Krakowska P., Puskarczyk E., Jędrzychowski M., Habrat M., Madejski P., Dohnalik M., X-ray computed tomography supported by nuclear magnetic resonance and mercury porosimetry as novel approach in pore space characterization of tight sandstones, [SCA Annual Symposium 2018] [Dokument elektroniczny]: [the 32nd

international symposium of the Society of Core Analysts: 26th–31st August, 2018, Trondheim: 2018 technical proceedings]. — [Norway: s. n.], [2018]. — S. [557–565]

- **[AK12]** Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Jędrychowski, M., Habrat, M., Madejski, P., Dohnalik, M., Innowacyjne narzędzie do jakościowej i ilościowej interpretacji obrazów – poROSE: przykład zwięzłych piaskowców z polskich basenów paleozoicznych, 12 Polski Kongres Naftowców i Gazowników: Przyszłość upstreamu i downstreamu w Polsce na tle zmian zachodzących na europejskim rynku ropy i gazu: Kraków, 16-18 maja 2018: streszczenia referatów / zesp. red. P. Dziadzio, J. Likus, D. Bernaś. — Kraków: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, 2018. — S. 111–112
- **[P12]** Jarzyna, J., Maziarka, D., Pasek, P., Klaja, J., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Profilowanie otworowe z wykorzystaniem zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego i badania NMR na próbkach skalnych dla oceny skał zbiornikowych, *Przegląd Geologiczny*, 2017, **65(2)**, 109–121
- Krakowska P., **Puskarczyk E.**, Habrat M., Madejski P., Dohnalik M., Jędrychowski M., Permeability formula for tight gas-bearing rocks using multilinear regression analysis and laboratory measurements results. Artykuł w dniu 24.02.2020 ma status: w trakcie recenzji, czasopismo: Computational Geoscience.

Z INiG-PIB w Krakowie współpracowałam także w zakresie realizacji projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, jako członek zespołów:

- **[PB1]** Projekt komercyjny: Opracowanie innowacyjnej koncepcji poszukiwania złóż węglowodorów w głębokich strukturach Karpat Zewnętrznych; finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Fundusze europejskie, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, Program INGA, projekt INNKARP; Kierownik projektu (Konsorcjum): prof. dr hab. Irena Matyasik, INiG-PIB w Krakowie, Kierownik etapu 2: prof. dr hab. inż. Jarzyna, J., AGH w Krakowie. projekt obecnie w realizacji (od 2019). *Mój udział w projekcie: wykonawca, kluczowy personel, członek zespołu badawczego. Realizacja zadań etapu 2 (2.1 i 2.2): Nowatorskie podejście do zintegrowanej analizy wyników pomiarów laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej w kontekście wspomagania interpretacji sejsmicznej, geologicznego obrazowania i potencjału naftowego struktur wglębnych.*
- **[PB2]** Projekt badawczy: Nowatorska metodyka interpretacji niekonwencjonalnych złóż ropy i gazu z wykorzystaniem wyników rentgenowskiej tomografii komputerowej, umowa LIDER/319/L-6/14/NCBR/2015; finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Program Lider VI; Kierownik: dr inż. Krakowska, P., AGH w Krakowie, zrealizowany (2016-2019).
- **[PB7]** Projekt badawczy: 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 10: Adaptacja do warunków polskich metodologii wyznaczania sweet spot'ów na podstawie korelacji pomiarów geofizycznych z rdzeniami wiertniczymi; finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju; Program Krajowy, Program Blue Gas; Kierownik projektu (Konsorcjum): prof. dr hab. Irena Matyasik, INiG - PIB w Krakowie, Kierownik zadania 10: prof. dr hab. inż. J. Jarzyna, AGH w Krakowie, zrealizowany (2013-2017).

2. Instytut Nauk Geologicznych Państwowej Akademii Nauk, Ośrodek Badawczy w Warszawie oraz Ośrodek Badawczy w Krakowie

W latach **2014 – 2018** współpracowałam z zespołem interpretacji sejsmicznej, pod kierownictwem **dr. hab. inż. Piotra Krzywca, prof. ING PAN**, w zakresie interpretacji profilowań geofizyki otworowej dla analiz sejsmicznych. W ramach współpracy, wykonywałam wydziałanie warstw w utworach kredy do analizy zmienności litologicznej parametrów petrofizycznych oraz obliczenie parametrów petrofizycznych w wydzieleniach litologicznych. Efekty wspólnych prac były prezentowane podczas konferencji:

- **[AK14]** Słonka, Ł., Krzywiec, P., Jarzyna, J., **Puskarczyk, E.**, Krakowska, P., Wawrzyniak-Guz, K., Seismic interpretation of the Upper Jurassic carbonate buildups from the Nida Trough (S Poland), SEISMIX [Dokument elektroniczny]: seismology between the Poles: 18th international SEISMIX symposium: 17–22 June 2018, Cracow, Poland. — [Cracow: s. n.], [2018]. — S. 126
- **[AK15]** Słonka, Ł., Krzywiec, P., **Puskarczyk, E.**, Krakowska, P., Wawrzyniak-Guz, K., Jarzyna, J., Sejsmiczna identyfikacja górnourajskich budowli węglanowych z południowo-wschodniej części Niecki Nidziańskiej, POKOS 7: Polska Konferencja Sedymentologiczna: Góra Św. Anny, 4-7 czerwca 2018 r.: materiały konferencyjne / red. Mariusz Kędzierski, Michał Gradziński. — Kraków: Polskie Towarzystwo Geologiczne, 2018. — S. 96
- **[AK25]** Słonka, Ł., Krzywiec, P., Krakowska, P., Wawrzyniak-Guz, K., **Puskarczyk, E.**, Jarzyna, J., Seismic characteristics of the Oxfordian carbonate buildups in the Nida Trough, Jurassica XIII: Jurassic geology of Tatra Mts: Poland, Kościelisko near Zakopane, June, 19-23, 2017: abstracts and field trip guidebook / ed. Jacek Grabowski. — Warsaw: Polish Geological Institute - National Research Institute, 2017. — S. 55–56

- **[AK45]** Stachowska, A., Słonka, Ł., Krzywiec, P., Wysocka, A., Jarzyna, J., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Kufraś, M., Late Cretaceous tectonics vs. sedimentation within the Miechów Trough (SE Poland), or how inversion of the Alpine foreland shaped local depositional systems, 31st IAS meeting of sedimentology [Dokument elektroniczny]: Kraków 22-25 June, 2015: abstracts / Polish Geological Society. — Kraków: Polish Geological Society, 2015. — S. 501

W latach **2017 – 2018** współpracowałam z ówczesnym doktorantem dr.hab. Arkadiusza Derkowskiego, prof. ING PAN, **dr Tomaszem Toporem**, w zakresie analizy laboratoryjnej próbek skał piaskowcowych, węgla i łupków ilastych. Wyniki zintegrowanej analizy pomiarów magnetycznego rezonansu jądrowego oraz analiz mineralogicznych są obecnie opracowywane pod kątem ich przyszłej publikacji. Z dr. Tomaszem Toporem współpracowałam również w ramach realizacji zadania 10 projektu badawczego: **[PB7]** 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, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju; Program Krajowy, Program Blue Gas.

w **2019** roku byłam kierownikiem i głównym wykonawcą pracy **[E1]** *Digitalizacja danych geofizyki otworowej*, wykonanej na zlecenie Instytutu Nauk Geologicznych PAN Ośrodek Badawczy w Krakowie (osoba odpowiedzialna za realizację zlecenia ze strony ING PAN: **dr hab. Artur Kędzior**) (Załącznik 10).

3. Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

Współpraca z zespołem **prof. dr. hab. Wojciecha Kwiatka** rozpoczęła się w 2012 roku i dotyczyła przede wszystkim analizy obrazów tomograficznych skał (**dr inż. Jakub Bielecki, dr inż. Konrad Tkocz**). Razem z **dr. inż. Konradem Tkoczem** pracowałam także nad badaniami tomograficznymi sztucznych próbek korundowych. Pomiary CT były wykonane w IFJ PAN na prototypowym tomografie komputerowym. Celem prac była interpretacja rozkładu porów dla próbek o znanej, z góry założonej porowatości. Sztuczne próbki do badań zostały wykonane w ramach realizacji przeze mnie zadania *Badania laboratoryjne na sztucznych próbkach wykonanych z korundu* (projekt badawczy **[PB14]** Prace statutowe WGGiOŚ: Geofizyka w geologii górnictwie i ochronie środowiska – doskonalenie metod).

Efekty wspólnych prac były przedmiotem publikacji artykułu, rozdziału w monografii oraz zostały zaprezentowane w wystąpieniu konferencyjnym (**[AK52]** - **nagroda** w kategorii **Najlepszy poster**):

- **[P4]** Jarzyna, J.A., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Bielecki, J., Tkocz, K., Tarasiuk, J., Wroński, S., Dohnalik, M., X-ray computed microtomography – a useful tool for petrophysical properties determination, *Computational Geosciences*, 2016, **20(5)**, 1155–1167
- **[RM6]** Jarzyna, J., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Bielecki, J., Kwiatek, W.M., Gruszczak, M., Spatial distribution of petrophysical properties on the basis of laboratory results, well logging and seismic data, *Geosciences and Engineering: a Publication of the University of Miskolc*, Miskolc, 2012, 1(2), 87–92
- **[AK52]** **Puskarczyk, E.**, Jarzyna, J., Kwiatek, W.M., Tkocz, K., Wzorcowy model ośrodka skalnego na podstawie badań laboratoryjnych „sztucznych próbek” z tworzywa ceramicznego, *Geopetrol 2014: Poszukiwania i eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego – nowe technologie, nowe wyzwania: międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna: Zakopane 15–18.09.2014 / Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy.* — Kraków: INiG, 2014. — S. 401–404
- **[AK55]** Jarzyna, J.A., Krakowska, P.I., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Bielecki, J., Kwiatek, W.M., Semyrka, R., Digital rocks – petrophysical analysis of clastic reservoirs, *Proceedings of the 34th International Geological Congress 2012 [Dokument elektroniczny]: 5–10 August 2012, Brisbane, Australia / BMA (BHP Billiton Mitsubishi Alliance).* — Australia: Australian Geosciences Council, cop. 2012. — S. 1612
- **[AK57]** Jarzyna, J., Krakowska, P., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Semyrka, R., Kwiatek, W.M., Bielecki, J., Skały zbiornikowe – cyfrowe modele i petrofizyczna analiza skał klastycznych, *Geopetrol 2012: nowoczesne technologie pozyskiwania węglowodorów w warunkach lądowych i morskich: międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna: Zakopane 17–20.09.2012: wydanie konferencyjne / Instytut Nafty i Gazu.* — Kraków: INiG, 2012. — S. 591–595

- [AK61] Jarzyna, J.A., Krakowska, P.I., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Bielecki, J., Kwiatek, W.M., Gruszczak, M., Spatial distribution of petrophysical properties on the basis of laboratory results, well logging and seismic data, Földtudományi és környezetvédelmi vándorgyűlés és kiállítás: „Földtudományok: a gazdasági fejlődés gyökerei”: Miskolc, 2012. September 27–29.. — Budapest: Magyar Geofizikusok Egyesülete, [2012]. — S. 54

4. Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec

W 2018 rozpoczęłam współpracę z **dr hab. Iwoną Jelonek, prof. UŚ**, w zakresie badań laboratoryjnych próbek węgla. Praca w czteroosobowym zespole (Edyta Puskarczyk i Paulina Krakowska-Madejska, AGH; Marek Dohnalik, INiG-PIB; Iwona Jelonek, UŚ) pozwoliła nam na połączenie wyników badań petrograficznych, geomechaniki i tomografii komputerowej, w kontekście analizy zmian struktury węgla oraz kierunków propagacji szczelin, pod kątem efektywnego wydobycia CBM.

Efekty współpracy były prezentowane w 2018 roku, podczas konferencji **35th Annual Meeting of The Society for Organic Petrology**, Beijing, Chiny, 17-22.08.2018: [AK71] **Edyta Puskarczyk**, Paulina Krakowska, Iwona Jelonek, Marek Dohnalik, *Geomechanical tests in the light of computed X ray tomography and petrographic data analysis for coal samples from Carboniferous basin in Poland*; Program topic: New techniques and applications.

W 2019 zostały przygotowane i złożone do redakcji dwa artykuły, ukazujące wyniki współpracy w zakresie badania węgla:

1. **Edyta Puskarczyk**, Paulina Krakowska, Marek Dohnalik, Iwona Jelonek, *Application of a new methodology for joint analysis using geomechanics, computed X-ray tomography and Petrography based on coal samples from Carboniferous basin in Poland*, złożone do Bulletin of Engineering Geology and the Environment (status na dzień 24.02.2020 – w trakcie recenzji);
2. Marek Dohnalik, Paulina Krakowska, **Edyta Puskarczyk**, Iwona Jelonek, *Wyniki badań testu wytrzymałościowego próbki węgla w świetle badań tomograficznych*, złożone do Nafta-Gaz (status na dzień 24.02.2020 – przyjęte do druku).

5. Geofizyka Toruń SA w Toruniu

Współpraca z firmą Geofizyka Toruń SA, kierownikiem Działu Interpretacji Pomiarów Geofizyki Otworowej, **mgr. inż. Stanisławem Baudzisem** i zespołem, przebiega wielotorowo:

- współpraca w zakresie wykorzystania metod statystycznych w rozpoznaniu facji (elektrofacji),
- współpraca w zakresie redukcji efektu Groningen, testowanie rozwiązań na przykładzie złoża BMB,
- współpraca w zakresie tworzenia i modyfikacji programu GeoWin, którego właścicielami są obecnie Geofizyka Toruń SA oraz AGH w Krakowie. W ramach pracy badawczej nad parametrem całkowitej zawartości węgla organicznego powstała aplikacja TOC, do obliczenia parametru TOC z profilowań geofizyki otworowej i wyników badań laboratoryjnych na próbkach z rdzeni wiertniczych. Aplikacja TOC, programu GeoWin, której jestem współautorem, jest w fazie TRL7 (ang. *Technology Readiness Level*). TRL7 oznacza fazę demonstracji aplikacji w otoczeniu operacyjnym (np. Warunki rzeczywiste, dane, różni użytkownicy).

W ramach współpracy, dwukrotnie, w grudniu 2014 i grudniu 2017 roku, odbyłam także **szkolenie** z zakresu geofizyki otworowej w Geofizyce Toruń SA.

Efekty wspólnych działań, dyskusji, analiz są udokumentowane artykułami, a także wystąpieniami konferencyjnymi (referat [AK30] został **nagrodzony** w kategorii: **Najlepszy referat sesji**):

- **[AK6]** Krakowska, P., Waszkiewicz, S., Karczewski, J., Jarzyna, J., **Puskarczyk, E.**, Wawrzyniak-Guz, K., Baudzis, S., New application for the total organic carbon estimation based on well logs, CAGG-AGH-2019 [Dokument elektroniczny]: "Challenges in Applied Geology and Geophysics: 100th anniversary of applied geology at AGH University of Science and Technology": international scientific conference: 10-13 September 2019, Kraków: book of abstracts / eds. Jarzyna, J., Krakowska-Madejska, P., Sowizdzał, A.; AGH. — Kraków: AGH University of Science and Technology, cop. 2019. — S. [1-2]
- **[AK16]** **Puskarczyk, E.**, Baudzis, S., Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do odtworzenia brakujących danych i poprawy niejednoznacznych wyników, na przykładzie profilowań geofizyki otworowej, Geopetrol 2018: rozwój technik poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów: [Zakopane–Kościelisko, 17–20.09.2018]: materiały konferencyjne. — Kraków: Instytut Nafty i Gazu - Państwowy Instytut Badawczy, 2018. — S. 281–286
- **[AK30]** Baudzis, S., Szuniewicz, Z., **Puskarczyk, E.**, Jarzyna, J., Charakterystyka elektrofacji na podstawie profilowań geofizyki otworowej, z wykorzystaniem wielowymiarowych metod statystycznych, Geopetrol 2016: współpraca nauki i przemysłu w rozwoju poszukiwań i eksploatacji złóż węglowodorów: X międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna: Zakopane, 19–22.09.2016 / Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy. — Kraków: INiG–PIB, 2016. — S.745–748

6. Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA

Współpraca ze specjalistami z Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa SA dotyczy przede wszystkim realizacji projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju: projekt programu Blue Gas MWSSSG **[PB7]**, projekt programu Lider VI **[PB2]**, projekt programu INGA **[PB1]**. Wykonywałam także pomiary i opracowania na zlecenie PGNiG: **[E8]** *Kompleksowa analiza i interpretacja badań rdzeni wiertniczych oraz płynów pochodzących z otworu Tępcz-1* i **[E9]** *Kompleksowa analiza i interpretacja badań rdzeni wiertniczych oraz płynów pochodzących z otworu Miłowo-1*. Kierownikiem umowy ze strony AGH był: dr hab. inż. Tomasz Bajda.

7. Orlen Upstream Sp. Z o.o.

Współpraca ze specjalistami z firmy Orlen Upstream Sp. Z o.o. odbywała się w ramach realizacji projektu programu Lider VI **[PB2]**.

8. LOTOS Petrobaltic

Współpraca ze specjalistami z firmy LOTOS Petrobaltic odbywała się w ramach realizacji projektu programu Blue Gas MWSSSG **[PB7]**, a także w zakresie wyjazdu ze studentami na platformę wiertniczą (**Helena Rucińska**, pracownik firmy uczestniczący w wyjeździe).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych

Działalność dydaktyczną prowadzę od czasu podjęcia w 2005 roku studiów doktoranckich na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W **2017** roku zostałam nagrodzona **indywidualną nagrodą (III stopnia)** Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne „**Organizacja naukowo-dydaktycznego laboratorium petrofizycznego**” (Załącznik 10).

W czasie studiów doktoranckich oraz zatrudnienia na WGGiOŚ AGH prowadziłam następujące zajęcia dydaktyczne, wykłady i/lub ćwiczenia i laboratoria (*pogrubioną czcionką zaznaczone te przedmioty, których jestem koordynatorem, autorem sylabusów i prowadzącym*):

1. *kierunek Geofizyka (I stopień)* – **Petrofizyka, Statystyka**, Geofizyka otworowa I, Geofizyka otworowa II, **Magnetyczny rezonans jądrowy w geofizyce**;

2. *kierunek Geofizyka stosowana (II stopień) – Zaawansowane metody statystyczne, Geofizyka złożowa*, Przetwarzanie i interpretacja profilowań geofizyki otworowej, Modelowania w geofizyce, Modele matematyczno-fizyczne w geofizyce;
3. *kierunek Górnictwo i Geologia – Metody geofizyczne w poszukiwaniach, Metody badań geofizycznych, Statystyka*; Geofizyka poszukiwawcza, Naftowa geofizyka otworowa;
4. *kierunek Inżynieria Środowiska – Metody badań geofizycznych, Geofizyka środowiska*;
5. *kierunek Ochrona Środowiska – Metody badań geofizycznych; Naftowa geofizyka otworowa*;
6. *studia niestacjonarne, specjalność Geofizyka – Systemy interpretacyjne w geofizyce, Metody geofizyczne w poszukiwaniach, Fizyka*;
7. *kierunek Applied Geophysics (II stopień), zajęcia w języku angielskim – Advanced Statistical Methods, Reservoir Geophysic, Modeling in Geophysics, Processing and Interpretation of Well Logging Data*;
8. *Zajęcia terenowe - Ćwiczenia terenowe z geofizyki; Praktyka kierunkowa dla Geofizyki poszukiwawczej, Praktyka kierunkowa dla Geofizyki środowiska*;

W ramach działalności dydaktycznej **doskonale istniejące** i przygotowuję **nowe stanowiska laboratoryjne** w zakresie zajęć laboratoryjnych z Petrofizyki, przygotowuję **schematy pomiarowe i instrukcje do ćwiczeń i laboratoriów**. Do prac badawczych w laboratorium petrofizyki włączam aktywnie studentów, sprawując opiekę merytoryczną nad pomiarami wykonywanymi w ramach projektów inżynierskich i prac magisterskich. Swoje doświadczenie naukowo-badawcze i najnowsze rozwiązania pomiarowo – interpretacyjne wykorzystuję również w realizacji zajęć dydaktycznych.

Laboratorium Petrofizyki, którego jestem kierownikiem, jest również wykorzystywane do zajęć praktycznych, prowadzonych przeze mnie w ramach ogólnouczelnianej bazy przedmiotów w języku angielskim - **Petrophysics**. Uczestnikami zajęć są obcokrajowcy, uczestnicy programów **ERASMUS, ERASMUS + kraje partnerskie (Wietnam) i AGH UNESCO Poland**.

W trakcie pracy dydaktycznej, dwukrotnie byłem **opiekunem I roku studiów na kierunku Geofizyka**.

Jestem **promotorem 14 prac magisterskich** (13 na kierunku Geofizyka, specjalność Geofizyka Stosowana (w tym dwie w trakcie realizacji), 1 na specjalności Applied Geophysics) oraz **17 projektów inżynierskich** (na kierunku Geofizyka), z zakresu petrofizyki i geofizyki otworowej. Wielokrotnie byłem **recenzentem prac inżynierskich i magisterskich**, realizowanych w Katedrze Geofizyki, WGGiOŚ AGH. Wyniki pracy magisterskiej M. Barnasia, były prezentowane na konferencji Applied Geophysics 2017 (Gniew), część wyników została opublikowana w artykule **[P10]** Barnaś, M., Puskarczyk, E., Comparative analysis of rock porosity in a selected region in the Carpathians based on laboratory data and well logs, E3S Web of Conferences Czasopismo elektroniczne, 2017, 24, art. no. 02002, 1–8.

Dwukrotnie, w latach **2018 – 2019**, przygotowałam i prowadziłam wykład i ćwiczenia laboratoryjne w Laboratorium Petrofizyki KG, WGGiOŚ, AGH w Krakowie dla studentów z **King Fahd University of Petroleum & Minerals, z Arabii Saudyjskiej** z przedmiotu *Petrophysics* (Załącznik 10).

Przez kilka lat prowadziłam zajęcia z Geofizyki złożowej, Modelowania w Geofizyce, Zaawansowanych metod statystycznych i Kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki otworowej, dla studentów z Ukrainy, w ramach umowy AGH z **Iwano-Frankiwski Narodowy Techniczny Uniwersytet Nafty i Gazu**.

W **2013** prowadziłam zajęcia z Petrophysics i Well Logging dla studentów **Montanuniversität**, w Leoben, Austria; w ramach programu **LLP-Erasmus (A LEOBEN 01)** (Załącznik 10).

W **2012** roku prowadziłam zajęcia z Petrophysics i Well Logging dla studentów **Norwegian University of Science and Technology (NTNU)**, w Trondheim, Norwegia; w ramach programu **LLP-Erasmus (N TRONDHE01, NO-7491)** (Załącznik 10).

W dniach 26-28.06.**2019** roku brałam udział w wyjeździe ze studentami z koła naukowego KIWON, na **platformę wiertniczą LOTOS Petrobaltic**.

Wielokrotnie byłam **członkiem komisji konkursowych w konkursach studenckich**, np. podczas **Konferencji Studenckich Kół Naukowych Pionu Górniczego - "Barbórka"**. Moim zadaniem było uczestnictwo, ocena merytoryczna i punktowa poszczególnych referatów konkursowych oraz wyłonienie zwycięzców.

W swojej pracy dydaktycznej wspieram studentów i absolwentów w drodze do znalezienia pracy w zawodzie. Byłam inicjatorem i koordynatorem **prezentacji firmy CGG**, Crowley, GB (Sharon Cooper – Land Technology Manager, Subsurface Imaging; Krzysztof Ubik – Supervisor, Subsurface Imaging; Paweł Dubiel – Subsurface Imaging), połączonej z rozmowami **rekrutacyjnymi**, dla studentów i absolwentów AGH, która miała miejsce w Krakowie, 22.11.2019 roku (Załącznik 10).

6.2. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych

W 2019 roku zostałam wybrana i powołana na **członka Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku**, w AGH w Krakowie, kadencja 01.10.2019 – 30.09.2020.

Przez dwie kadencje, w latach **2011 – 2019**, byłam **członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej WGGiOŚ**, biorąc aktywny udział w procesie rekrutacyjnym (coroczny cykl rekrutacyjny, letni i zimowy).

W **2019** roku byłam odpowiedzialna za zaprojektowanie i stworzenie **nowej strony internetowej Katedry Geofizyki**, WGGiOŚ, AGH. Zebrałam, uporządkowałam i zredagowałam informacje umieszczone na stronie Katedry.

Z okazji obchodów Jubileuszu 70-lecia Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie w roku 2016 (13 – 16 czerwca) byłam odpowiedzialna za **prezentację możliwości badawczych Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH** w Krakowie (postery: Petrofizyka, Geofizyka otworowa) na obchodach jubileuszu.

Od 2014 roku pełnię funkcję **kierownika Laboratorium Petrofizycznego w Katedrze Geofizyki, WGGiOŚ, AGH**. W ramach pełnionej funkcji:

- **opracowałam koncepcję** kompleksowych pomiarów laboratoryjnych wykonywanych na próbkach skał, gleb, pyłów, gruntów i betonów;
- **skompletowałam aparaturę** pomiarową do nowoczesnych badań wykonywanych na materiale skalnym w warunkach naturalnych oraz pod zadaniem ciśnieniem i w zadanej temperaturze w celu odtworzenia warunków *in situ*;
- **opracowałam metodykę** pomiarową i schematy pomiarów, według światowych norm i zaleceń;
- **przeprowadziłam analizę rynku, zebrałam oferty, opracowałam komplety danych, wniosków i specyfikacji do przetargów**, w ramach których zakupiono zestawy aparaturowe do następujących pomiarów: 1) **prędkości** podłużnych i poprzecznych fal sprężystych oraz dynamicznych modułów sprężystości, 2) współczynnika **przewodnictwa cieplnego**, 3) elektrycznej **oporności** właściwej, przy zmiennym nasyceniu oraz w zadanych warunkach termo-barycznych, 4) parametrów **geomechanicznych**, wyznaczanie statycznych modułów sprężystości oraz pomiar prędkości fal sprężystych P i S, podczas testu wytrzymałościowego,

5) pomiaru **gęstości** właściwej i objętościowej, 6) zestaw urządzeń do **preparatyki** próbek (m.in. suszarka, wirówka, waga, saturator, piła, urządzenie do wycinania rdzeni);

- **prowadzę pełną dokumentację** zleceń, realizowanych prac i pomiarów w laboratorium;
- **odpowiadam** za **archiwizację** materiału badawczego;
- **odpowiadam** za **serwis i naprawy** urządzeń;
- **prowadzę projekty i zlecenia realizowane w laboratorium** – pobór materiału do badań, przygotowanie próbek, wykonanie pomiarów, analiza i interpretacja wyników, przygotowanie raportu.

Zakupy, uruchomienie i wytestowanie funkcjonalności aparatur odbywało się etapami w latach 2015-2019. W Laboratorium Petrofizyki KG WGGiOŚ AGH przeprowadzane są obecnie pomiary zarówno do prac naukowo – badawczych, dydaktycznych jak i wykonywane są zlecenia zewnętrzne. Jednym z moich celów jest ciągłe poszerzanie funkcjonalności i modernizacja aparatury do badań, aby umożliwić studentom, doktorantom oraz kadrze naukowo-badawczej zapoznanie się z nowoczesną aparaturą do laboratoryjnego badania skał i innych materiałów, wykonania pomiarów oraz analizy wyników. Laboratoryjna aparatura badawcza jest także wykorzystywana do współpracy między członkami zespołów naukowych na WGGiOŚ oraz innych jednostek (np. INiG-PIB, ING PAN, PGNiG).

Z okazji obchodów Jubileuszu 70-lecia Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie w roku 2016 (13 – 16 czerwca) byłam odpowiedzialna za prezentację możliwości badawczych Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH w Krakowie w postaci posterów (Petrofizyka, Geofizyka otworowa) na obchodach jubileuszu.

6.3. Informacja o osiągnięciach popularyzujących naukę

W okresie swojej pracy naukowej, wielokrotnie brałam udział w wydarzeniach mających na celu popularyzację nauki oraz promocję wydziału i uczelni, m.in.:

- **Dni Otwarte AGH** – udostępnienie materiału skalnego, sprzętu do badań i pokazowe pomiary;
- **Festiwal Nauki w Krakowie** – stoisko na Rynku Głównym w Krakowie, prezentacja i pokazowe pomiary;
- **wyjazdy do szkół** – prezentacja multimedialna;
- **zwiedzanie Laboratorium Petrofizyki** przez uczniów Zespołu Szkół Naftowo - Gazowniczych im. Ignacego Łukasiewicza w Krośnie.

W **2019** roku, w ramach współpracy oraz promocji i popularyzacji wyników projektu LIDER VI i programu poROSE, brałam udział w **spotkaniach z pracownikami, prezentacjach i seminariach** następujących jednostek nauki i przemysłu: 1) 10-11.01., Miskolc (Węgry), **University of Miskolc**; 2) 21.01., Mediolan (Włochy), **Eni: energy company Co.**; 3) 23.01., Heidelberg (Niemcy), **Volume Graphics GmbH**; 4) 24.01., Bochum (Niemcy), **International Geothermal Centre, Hochschule Bochum**; 5) 29.01., Warszawa, **Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk**; 6) 31.01., Zielona Góra, **Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA, Oddział w Zielonej Górze**.

W ramach popularyzacji geofizyki i metod geofizycznych, brałam również udział w badaniach terenowych:

- w **2018** roku na prośbę Burmistrza Miasta i Gminy Myślenice, brałam udział w pracach zespołu, wykonującego **badania georadarowe w kościele Św. Jakuba w Myślenicach**. Celem badań była próba lokalizacji spękań i rozluźnień podłoża, które mogły doprowadzić do powstania zapadliska w prezbiterium kościoła. Pomiary, interpretację i opracowanie wykonali: dr inż. Jerzy Karczewski i dr inż. Edyta Puskarczyk.

- w 2017 roku na prośbę Burmistrza Miasta i Gminy Świątniki Górne, byłam członkiem zespołu wykonującego **badania georadarowe, mające na celu poszukiwanie ukrytych pomieszczeń w budynku Zespołu Szkół w Świątnikach Górnych**. Kierownikiem badań był dr inż. Jerzy Ziętek.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej

W omawianym okresie pracy naukowej byłam autorem i współautorem **124 publikacji** (28 w czasopiśmie naukowych [O1 – O10] [P1 – P18], 1 monografii [M1], 10 rozdziałów w monografiach [RM1 – RM10], 11 rozszerzonych artykułów konferencyjnych indeksowanych w WoS i/lub Scopus [P19 – P29], 74 recenzowanych abstraktów konferencyjnych [AK1 – AK74]) (pełny wykaz zamieszczono w załączniku 6).

Brałam udział w **36 konferencjach** (29 międzynarodowych i 7 krajowych), podczas **28 konferencji** występowałam jako autor/współautor wystąpień konferencyjnych, brałam też udział w warsztatach, m.in. *EAGE Conference & Exhibition* (2007, 2008, 2011, 2012, 2014, 2016, 2017), *Society of Core Analysts Annual Symposium* (2017, 2018, 2019), *Annual Symposium Society of Petrophysicists and Well Log Analysts* (2008), *International Geological Congress* (2016), *Geopetrol* (2008, 2012, 2014, 2016, 2018). Oprócz tego, byłam współautorem referatów, prezentowanych m.in. na **15 konferencjach**: *34th International Geological Congress* (2012, Brisbane; Australia, 1 referat); *AAPG European regional conference & exhibition* (2015, Lizbona, Portugalia, 1 referat, 2 postery); 3rd International Conference on Tomography of Materials and Structures (2017, Lund, Szwecja, 2 postery); 11th International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (Kraków, Poland, 2018, 1 referat); 35th Annual Meeting of The Society for Organic Petrology, (2018, Beijing, Chiny, 1 poster).

Brałam również udział w konferencjach, jako: **przewodząca (Chairman) sesję referatową** *1.3. Profilowania Geofizyki wiertniczej oraz parametry petrofizyczne z różnej perspektywy*, podczas konferencji *Geopetrol 2018*, **współprzewodząca (Chairman) sesję posterową** podczas konferencji *Applied Geophysics 2018*, **członek jury w sesji konkursowej** podczas 12 Polskiego Kongresu Naftowców i Gazowników: *Przyszłość upstreamu i downstreamu w Polsce na tle zmian zachodzących na europejskim rynku ropy i gazu*; Kraków 2018.

W omawianym okresie pracy naukowej wielokrotnie (> 10) **recenzowałam manuskrypty publikacji w czasopiśmie naukowych**, m.in. *W: Acta Geophysica, AAPG Bulletin, International Journal of Coal Geology, The Open Fuels & Energy Science Journal, Geosciences and Engineering, GEM - International Journal on Geomathematics, Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN*. **Recenzowałam rozszerzone abstrakty i abstrakty konferencyjne**: *EAGE Near Surface* (od 2007, >20 recenzji) i *Applied Geophysics* (2017-2018, kilka).

Byłam **kierownikiem dwóch projektów badawczych**: prowadziłam własny projekt badawczy, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dotyczący poprawy efektywności pomiarów i interpretacji z wykorzystaniem zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego [PB17], oraz projekt badawczy dla młodych naukowców [PB9], dotyczący wielowymiarowej analizy wyników badań laboratoryjnych i geofizyki otworowej.

W omawianym okresie pracy badawczej byłam wykonawcą i członkiem zespołów badawczych w **21 projektach badawczych**, finansowanych m.in. przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju [PB1 – PB5, PB7 – PB8], Narodowe Centrum Nauki [PB10], Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego [PB6, PB9, PB11 – PB18], Ministerstwo Środowiska [PB19], Ministerstwo Nauki i Informatyzacji [PB20-PB21]

(Załącznik 10). Oprócz tego byłam (2 projekty w toku realizacji) członkiem zespołów badawczych w 6 projektach, realizowanych bez dotacji finansowej.

Wykonałam **13 opracowań i ekspertyz**, wykonanych m.in. na zlecenie PGNiG, Tauron Wydobywanie SA, INiG-PIB, PIG-PIB, ING PAN. Byłam kierownikiem **6 opracowań/ekspertyz**, wykonanych na zlecenie jednostek naukowych i firm (Załącznik 10).

Do udokumentowanego dorobku technologicznego zaliczam współautorstwo programu komputerowego **poROSE**, aplikacji **TOC** (program GeoWin) oraz **GLLP** (Geo Lab – Log Platform). Program poROSE jest **licencjonowany** przez Centrum Transferu Technologii AGH w Krakowie w ramach umów komercyjnych i również przekazywany niekomercyjnym jednostkom przemysłowym i naukowym (Załącznik 10). Programy TOC i GLLP znajdują się obecnie w fazie TRL7.

Za osiągnięcia naukowe czterokrotnie byłam nagradzana nagrodą Rektora AGH (**2013** – nagroda zespołowa II stopnia, **2015** – nagroda indywidualna III stopnia, **2016** – nagroda zespołowa III stopnia, **2018** – nagroda zespołowa III stopnia). W **2017** roku przyznano mi indywidualną nagrodę Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne. W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora, trzykrotnie byłam nagradzana za osiągnięcia naukowe. Trzykrotnie brałam udział w programie Erasmus (**2012, 2013, 2017**) oraz w brałam udział w programach European Association of Geoscientists and Engineers (PACE w 2012, Education Tour 2007 i 2008) . Trzykrotnie przyznano mi nagrody za najlepsze wystąpienie konferencyjne: **Geopetrol 2014 – Najlepszy poster, Geopetrol 2016 – Najlepszy referat sesji** oraz **Applied Geophysics 2018 – Best Oral Presentation** (Załącznik 10).

Ciągłą potrzebę nauki i zdobywania nowych doświadczeń realizuję również poprzez udział w stażach, kursach i szkoleniach, w kraju i za granicą, m.in.:

- *Practical NMR Interpretation*, 2008, Edynburg, Wielka Brytania, szkolenie organizowane przez Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (Załącznik 10);
- *Seismic Reservoir Characterization: An Earth Modelling Perspective*, 2009, kurs organizowany przez CGG Veritas;
- *Carbonate Reservoir Characterisation*, 2012, NTNU, Thondheim, kurs prowadzony przez Statoil (Załącznik 10);
- *Staż naukowy w INiG-PIB, Kraków*, styczeń – luty 2012, staż (Załącznik 10);
- *Modelowanie i symulacje złożowe – Nowe metody i zastosowania*, 16.09.2014, warsztaty (Załącznik 10);
- *Sieci neuronowe*, 28-29.11.2016, Statsoft; szkolenie (Załącznik 10);
- *Imaging Techniques for Core Analysis*, 28.08.2017, Wiedeń, Austria; *short courses* organizowany przez SCA;
- *Training in petrophysics and well logging*, 2017, Miskolc, University of Miskolc; szkolenie (Załącznik 10);
- *Wettability, Measurements and Impacts* 27.08.2018, Trondheim, Norwegia; *short courses* organizowany przez SCA;
- *Szkolenie z obsługi oprogramowania Interactive Petrophysics IP*, firmy Lloyd's Register, 15-18.04.2019, prowadzenie Derek Crombie i Andy Laidlaw; szkolenie;
- *Horizontal Well Geosteering Course*, 10-14.06.2019, prowadzenie Piotr Przybyło, GeoModes Geosteering Techniques; szkolenie (Załącznik 10);
- *Total Exploration & Production Alternative Subsurface Data (TEP ASD), Logging Calibration Center*; 27.08.2019; wyjazd studyjny organizowany przez TOTAL, Pau, Francja;
- *Numerical history matching of SCAL data*, 26.08.2019, Pau, Francja, *short courses* organizowany przez SCA;
- *Kursy online i webinaria z zakresu petrofizyki, geofizyki otworowej i statystyki*.

Podsumowanie tabelaryczne osiągnięć naukowych, z podziałem na okres przed uzyskaniem stopnia doktora i po uzyskaniu stopnia doktora, przedstawiłam w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Tabela wykaz osiągnięć naukowych przed i po obronie pracy doktorskiej. Data sporządzenia wykazu: 20.02.2020.

DOROBEK NAUKOWO-BADAWCZY	PRZED DOKTORATEM	PO DOKTORACIE	SUMA
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW MNISW: [PRZED 2019 / 2019 – 2020]	12 [12 / -]	738 [398 / 340]	750 [410 / 340]
SUMARYCZNY IF	0,619	18,904	19,523
SUMARYCZNY IF-5	0,817	20,837	21,654
INDEKS HIRSCHA WG BAZY WEB OF SCIENCE	<i>bd</i>	7	7
INDEKS HIRSCHA WG BAZY SCOPUS / BEZ AUTOCYTOWAŃ	<i>bd</i>	8 / 7	8 / 7
SUMARYCZNA LICZBA CYTOWAŃ WG WEB OF SCIENCE/ BEZ AUTOCYTOWAŃ	-	109 / 86	109 / 86
SUMARYCZNA LICZBA CYTOWAŃ WG SCOPUS/ BEZ AUTOCYTOWAŃ	1 / 1	143 / 110	144 / 111
SUMARYCZNA LICZBA PUBLIKACJI	10	114	124
SUMARYCZNA LICZBA PUBLIKACJI W CZASOPISMACH NAUKOWYCH	4	27	31
PUBLIKACJE W CZASOPISMACH Z LISTY JCR	1	15	16
PUBLIKACJE ZAMIESZCZONE W BAZIE WEB OF SCIENCE CORE COLLECTION [PUBLIKACJE W CZASOPISMACH / MATERIAŁY KONFERENCYJNE]	1 [1 / -]	20 [17 / 3]	21 [17 / 4]
PUBLIKACJE ZAMIESZCZONE W BAZIE SCOPUS [PUBLIKACJE W CZASOPISMACH / MATERIAŁY KONFERENCYJNE]	3 [1 / 2]	28 [19 / 9]	31 [20 / 11]
MONOGRAFIE	0	1	1
SUMARYCZNA LICZBA ROZDZIAŁÓW W MONOGRAFIACH [ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH W J. ANGIELSKIM / ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH W J. POLSKIM]	4 [- / 4]	6 [3 / 3]	10 [3 / 7]
PUBLIKACJE W MATERIAŁACH KONFERENCYJNYCH [MATERIAŁY KONFERENCYJNE W J. ANGIELSKIM / MATERIAŁY KONFERENCYJNE W J. POLSKIM]	6 [4 / 2]	78 [51 / 27]	84 [55 / 29]
UDZIAŁ W KONFERENCJACH [KONFERENCJE MIĘDZYNARODOWE / KONFERENCJE KRAJOWE]	12 [7 / 5]	24 [20 / 4]	36 [27 / 9]
PROJEKTY BADAWCZE [REALIZOWANE NA DRODZE KONKURSU / INNE]	5 [5 / -]	22 [16 / 6]	27 [21 / 6]
EKSPERTYZY, OPRACOWANIA DLA PRZEMYSŁU	4	9	13
ORGANIZACJA, PROWADZENIE SESJI PODCZAS KONFERENCJI	0	2	2
LICENCJE, OPROGRAMOWANIA	-	3	3

DOROBEK NAUKOWO-BADAWCZY	PRZED DOKTORATEM	PO DOKTORACIE	SUMA
NAGRODY I WYRÓŻNIENIA (NAGRODY ZA DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWĄ, DYDAKTYCZNA, NAGRODZONE WYSTĄPIENIA KONFERENCYJNE)	3	9	12
PROMOTOR PRAC MAGISTERSKICH	-	14	14
PROMOTOR PRAC INŻYNIERSKICH	-	17	17

Bibliografia (wybrane pozycje, szczegółowy spis literatury dla [A1 – A10] zawarto w Załączniku 4):

Akbar M, Petricola M, Watfa M, Badri M, Charara M, Boyd A, Grace M, Kenyon B, Roestenburg J, 1995. Classic interpretation problems: evaluating carbonates. *Oilfield Rev* 7:38–57

Amaefule JO, Altunbay M, Tiab D, Kersey DG, Keelan DK, 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (Flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. In: SPE annual technical conference and exhibition, Houston (3–6 October), paper SPE-26436-MS. <https://doi.org/10.2118/26436-ms>

Aminzade F, de Groot P., 2006. Neural networks and other soft computing techniques with application in the oil industry. EAGE Publications, Houten, p 129

Arizabalo R.D., Oleshko K., Korvin G., Ronquillo G. and Cedillo-Pardo E. 2004. Fractal and cumulative trace analysis from wire-line logs from well in a naturally fractured limestone reservoir in the Gulf of Mexico. *Geofisika Internacional* 43(3), 467–476.

Arns CH, Bauget F, Ghouse A, Sakellariou A, Senden TJ, Sheppard AP, Sok RM, Pinczewski WV, Kelly JC, Knackstedt MA, 2005. Digital core laboratory: petrophysical analysis from 3D imaging of reservoir core fragments. *Petrophysics* 46(4):260–277

Basak, D., Pal, S. and Patranabis, D.C., 2007. 'Support Vector Regression', *Neural Information Processing – Letters and Reviews*, October, Vol. 11, No. 10, pp.203–224.

Browaeys T.J. and Fomel S., 2009. Fractal heterogeneities in sonic logs and low-frequency scattering attenuation. *Geophysics* 72(2), 77–92.

Charsky, A. and Herron, S., 2013. 'Accurate, direct total organic carbon (TOC) from log – a new advanced geochemical tool: comparison with conventional approaches for TOC estimation', Poster at the AAPG Annual Convention and Exhibition.

Coates G.R., Xiao L. and Prammer M.G., 1999. *NMR Logging Principles & Applications*. Halliburton Energy Services, Houston.

Dolan S.S., Bean C.J. and Rioulet B., 1998. The broad-band fractal nature of heterogeneity in the upper crust from petrophysical logs. *Geophysical Journal International* 132, 489–507.

Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24: 417–441 and 498–520.

Huang Z, Shimeld J, Williamson M, Katsube J., 1996. Permeability prediction with artificial neural network modeling in the Venture gas field, offshore Eastern Canada. *Geophys* 61(2):422–436. <https://doi.org/10.1190/1.1443970>

Iturrarán-Viveros U, Parra JO., 2014. Artificial Neural Networks applied to estimate permeability, porosity and intrinsic attenuation using seismic attributes and well-log data. *J Appl Geophys* 107:45–54

Kaiser, H.F., 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20: 141–151.

Karnkowski P., 1999. Oil and Gas Deposits in Poland. Geosynoptics Society 'GEOS', Cracow, Poland.

Lopez M. and Aldana M., 2007. Facies recognition using wavelet based fractal analysis and waveform classifier at the Oritupano-A Field, Venezuela. *Nonlinear Processes in Geophysics* 14, 325–335, www.nonlin-processes-geophys.net/14/325/2007.

MacQueen, J.B., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1: 281–297.

Mysliwiec M., 2004a. The Miocene Reservoir Rocks of the Carpathian Foredeep. *Przegląd Geologiczny* 52, 581–592 (in Polish, Abstract in English).

Mysliwiec M., 2004b. Traps for gas accumulations and the resulting zonation of the gas fields in the Miocene strata of the eastern part of the Carpathian Foredeep (SE Poland). *Przegląd Geologiczny* 52, 657–664 (in Polish, Abstract in English).

Oszczypko N., Ślaczka A. and Zytko K., 2008. Tectonic subdivision of Poland: Polish Outer Carpathians and their foredeep. *Przegląd Geologiczny* 56(10), 927–935 (in Polish, Abstract in English).

Plewa, M., Plewa, S., 1992. *Petrofizyka*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa (in Polish).

Prasad, M., Kopycinska, M., Rabe, U., Arnold, W., 2002. Measurements of Young's modulus of clay minerals using atomic force acoustic microscopy. *Geophys. Res. Lett.* 29 (8), 1172–1175.

Raymer, L.L., Hunt, E.R., Gardner, J.S., 1980. An improved sonic transit time to porosity transform, SPWLA Logging Symposium, paper P.

Rider, M.H., 2002. *Geological application of well logs*. second edition. Rider-French Consulting Ltd., Sutherland.

Tadeusiewicz R., 1993. *Sieci neuronowe*. Akademska Oficyna Wydawnicza, Warsaw, Poland (in Polish)

Tiab D, Donaldson EC, 2000. *Petrophysics, theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties*, 2nd edn. Elsevier, N.Y., p 899

Webb P.A., 2001. An introduction to the physical characterization of materials by mercury intrusion porosimetry with emphasis on reduction and presentation of experimental data. Micromeritics Instrument Corp., Norcross, Georgia, January 2001 www.halliburton.com.

Welling, M., 2006. Support Vector Regression [online]
http://www.cmlab.csie.ntu.edu.tw/~cyy/learning/papers/SVR_WellingsNote.pdf (accessed 4 May 2017).

Yegnanarayana, B., 2006. *Artificial Neural Networks*, p.476, Prentice-Hall, New Delhi, India.

Zawisza L., 1993. Określanie współczynnika przepuszczalności absolutnej oraz przepuszczalności względnych skał na podstawie pomiarów geofizycznych w otworach wiertniczych. AGH Publishing, Kraków, Poland (in Polish)



(podpis wnioskodawcy)