

Iwona Kłosok-Bazan

AUTOREFERAT
dotyczący osiągnięć w pracy
naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej

	Strona
A. Dane podstawowe	2
B. Wskazane osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.)	3
C. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	16
D. Charakterystyka dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego i organizacyjnego	19

A. DANE PODSTAWOWE

1. Imię i nazwisko

Iwona Kłosok-Bazan

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 06.1994 Politechnika Śląska; Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Dyplom magistra inżyniera inżynierii środowiska, specjalność ochrona powietrza. Temat pracy magisterskiej: „*Kompostowanie odpadów organicznych*”. Promotor: dr inż. Renata Przywarska
- 09.1996 Ecole des Mines de Nancy, Direction des Formations Specialisees de l'Ingenieur. Dyplom Mastere Specialise en Modernisation Industrielle et Reconversion. Temat pracy końcowej: „*Les possibilites de financement des investissement dans la domain de l'eau en Pologne*”. Promotor: prof. Francois Guerin
- 06.2002 Politechnika Śląska; Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Uzyskanie stopnia doktora inżyniera nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska. Tytuł rozprawy ” „*Usuwanie żelaza i manganu z wody trudno podatnej na uzdatnianie*”. Promotor: dr hab. inż. Waldemar Sawiniak, recenzenci; prof. dr hab. inż. Michał Bodzek, prof. dr hab. inż. Janusz Boss
- 03.2011 Politechnika Śląska; Wydział Organizacji i Zarządzania. Studia podyplomowe Menadżer innowacji. Uzyskany dyplom: Certyfikat Menadżer Zarządzania Innowacjami wydany przez TUV Nord Polska nr MI-110326-C-923

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1994 – 2004 Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Urządzeń dla Przemysłu Spożywczego i Ochrony Środowiska, pełnione stanowiska: asystent (1999-2002), adiunkt (2002-2004).
- od 10.2004 Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, pełnione stanowiska; adiunkt

B. WSKAZANE OSIĄGNIĘCIE WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 Z PÓŹN. ZM.)

1) tytuł osiągnięcia naukowego:

Podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska jest monografia pt.:

Modelowanie efektywności odżelaziania wód geotermalnych

2) (autor/autorzy, rok wydania, tytuł/tytuły publikacji, nazwa wydawnictwa):

Iwona Kłosok-Bazan; *Modelowanie efektywności odżelaziania wód geotermalnych*. Monografie Oficyny Wydawniczej Politechniki Śląskiej vol. 503, ISBN 978-83-66033-33-7, Opole 2019.

Recenzenci Wydawniczy:

prof. dr hab. inż. Karol KUŚ, Politechnika Śląska

prof. dr hab. inż. Maria WŁODARCZYK-MAKUŁA, Politechnika Częstochowska

3) Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników

Jednym z powszechnych procesów wykorzystywanych podczas uzdatniania wody jest jej odżelazianie, szeroko stosowane zarówno w uzdatnianiu wód przemysłowych jak i tych, wykorzystywanych na cele komunalne. Odżelazianiu podlegają także wody stosowane w irygacji terenów rolniczych oraz wody przygotowywane dla potrzeb ogrodnictwa. Najnowszym zastosowaniem procesów odżelaziania jest uzdatnianie wód geotermalnych. Ze względu na temperaturę, wody geotermalne stały się w ostatnim czasie przedmiotem szczególnego zainteresowania w zakresie pozyskiwania energii ze źródeł alternatywnych. Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, Polska zobowiązana jest do roku 2020 zwiększyć udział energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych w całkowitym bilansie energetycznym kraju powyżej 15%. Ważne miejsce w tym bilansie zajmuje energia zawarta w wodach geotermalnych. Wody pozyskiwane z wnętrza ziemi stanowią jedno z tych strategicznych źródeł energii, które nie są uzależnione od warunków atmosferycznych jak np. siłownie wiatrowe, kolektory słoneczne czy ogniwa fotowoltaiczne.

Polska leży na terenie jednej z trzech europejskich prowincji geotermalnych. Liczne badania potwierdziły, iż 80% powierzchni kraju posiada dostęp do złóż geotermalnych o bardzo zróżnicowanej temperaturze. W zależności od miejsca wydobywania, temperatura ta może wynosić od 20°C do około 80 °C, sporadycznie sięgać 180°C. Na jakość źródła geotermalnego, oprócz temperatury, mają również wpływ czynniki hydrogeologiczne, z których najważniejsze to jakość ujmowanej wody oraz wydajność masowa wody. Są to czynniki niezwykle trudne do określenia i ich analiza możliwa jest dopiero po dokonaniu kosztownych wierceń. Skutkiem naruszenia przez odwierty równowagi warstwy wodonośnej

może być długotrwała zmiana składu chemicznego wody, związana z utlenianiem skał, np. pirytu. Prowadzi to do postępującego pogorszenia jakości ujmowanej wody, w konsekwencji narzuca konieczność jej uzdatniania, a w skrajnych przypadkach - wyłączenia źródła z eksploatacji. O ile w przypadku wód podziemnych wykonywanie odwiertów wydaje się być celowe, o tyle w przypadku wód geotermalnych, dla których koszt odwiertu waha się w granicach od 12 mln do 14 mln zł, działanie takie jest nieuzasadnione ekonomicznie.

Problemem niezwyklej wagi staje się zatem uzdatnianie wód geotermalnych. Obejmuje ono szereg procesów fizycznych, chemicznych i mechanicznych, mających doprowadzić do uzyskania wody o oczekiwanych parametrach. Biorąc pod uwagę szerokie wykorzystanie wód geotermalnych, parametry uzdatnianej wody determinowane będą sposobem jej wykorzystania. Analiza aktualnych i potencjalnych warunków wykorzystania wody geotermalnej, każe brać pod uwagę takie możliwości jak:

- wykorzystanie wody jako nośnika energii w elektrowni geotermalnej i innych obiektach, których celem jest pozyskanie tylko i wyłącznie ciepła;
- wykorzystanie wody w balneologii i rekreacji;
- wykorzystanie odpadowych wód geotermalnych jako źródła wody do produkcji wody komunalnej i przemysłowej;
- oczyszczenie odpadowych wód geotermalnych przed wprowadzeniem ich do środowiska naturalnego.

Powyższe, różnorodne przykłady i potencjalne możliwości wykorzystania wód geotermalnych wskazują, że problem odżelaziania jest nadal aktualny. Inspiracją do podjęcia pracy był nie tylko aktualny kierunek rozwoju technologii uzdatniania wód geotermalnych, ale też wizyta w ośrodku narciarskim, w którym górski strumień z nienaturalnie zażelazioną wodą przykuwał uwagę przechodniów. Okazało się, że w sposób niekontrolowany wprowadzone zostały do niego odpadowe wody geotermalne o dużym stężeniu żelaza. Żelazo wprowadzone wraz z nieoczyszczoną wodą geotermalną zmieniło barwę i mętność wody w strumieniu, a rudobrazowy osad wytrącał się z wody na jego brzegach i na kamieniach. Analizując potencjalne możliwości wykorzystania wody geotermalnej, a także uwzględniając aspekty ekonomiczne odżelaziania wody, podjęłam się badań nad odżelazianiem wód geotermalnych, adaptując istniejącą dotąd wiedzę na temat odżelaziania chłodnych wód podziemnych. Żelazo najczęściej występuje w źródle jako rozpuszczone dwuwartościowe formy, które ulegają utlenieniu w kontakcie z powietrzem atmosferycznym, powodując wytrącanie się znacznych ilości osadu. Procesy odżelaziania tzw. wód chłodnych (o temperaturze do 20° C) są dość dobrze poznane i szeroko opisane w literaturze. Zasadniczo proces ten polega na zmianie formy występowania żelaza z rozpuszczonej dwuwartościowej formy do trójwartościowej postaci zawiesiny, która w kolejnych jednostkowych procesach takich jak sedymentacja i filtracja jest usuwana z wody. Pomimo, że procesy odżelaziania są stosunkowo dobrze rozpoznane, naukowcy na całym świecie próbują rozwiązać szereg problemów technicznych i eksploatacyjnych związanych z obecnością żelaza w wodzie. Pojawiające się nowe zastosowania procesu odżelaziania wymuszają zmianę podejścia do sposobu modelowania, projektowania, a także samej eksploatacji urządzeń technicznych. Należy również pamiętać, że jakość procesu odżelaziania jest funkcją wielu czynników, zmiennych ilościowo i w czasie. Prowadząc procesy odżelaziania wody mamy do czynienia z różnymi rodzajami wód, posiadającymi, oprócz żelaza, cały szereg domieszek. Każda z nich może mieć wyraźny wpływ na efektywność procesów odżelaziania, a także przyjęty sposób prowadzenia eksploatacji. Zróżnicowanie składu jakościowego wody w różnych ujęciach powoduje konieczność prowadzenia badań tak na etapie przedprojektowym jak i przy doborze urządzeń oraz ścisłego monitorowania ich pracy w trakcie eksploatacji.

Metodyka badań

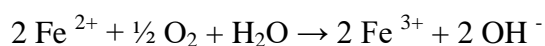
Biorąc pod uwagę powyższe podjęłam się badań, których zasadniczym celem było opracowanie modelu efektywności odżelaziania wód geotermalnych będącego podstawą do ustalenia optymalnych warunków eksploatacji urządzeń do ich odżelaziania. Ponieważ wody geotermalne w porównaniu z chłodnymi wodami podziemnymi charakteryzują się wyższą temperaturą i zasoleniem, w pracy podjęłam się przeprowadzenia analizy wpływu temperatury i zasolenia na efektywność procesu odżelaziania. Badania podzielono na IV etapy.

Etap I - przygotowanie wody modelowej

Jednym z podstawowych czynników wpływających na skuteczność procesu odżelaziania jest skład wody surowej. Woda występująca w środowisku naturalnym oprócz żelaza i domieszek powodujących zasolenie zawiera szereg związków, które mogą wpływać hamująco lub katalizująco na proces. Podjęłam zatem decyzję, że badania przeprowadzone zostaną na wodzie modelowej przygotowywanej na bazie wody destylowanej i chemicznie czystych odczynników dodawanych w odpowiednich proporcjach. Po szczegółowej analizie danych dotyczących jakości wody w 10 ujęciach geotermalnych przyjąłm następujące założenia, co do sposobu przygotowywania wody modelowej. Przygotowywanie wody modelowej rozpoczęłam od ustalenia poziomu zasolenia. Pod względem mineralizacji wyróżnia się: wody o słabej mineralizacji (1–5 g/dm³), wody o średniej mineralizacji (5–15 g/dm³), wody o wysokiej mineralizacji (15–35 g/dm³) oraz solanki (>35 g/dm³). Jako dolną granicę badań przyjąłm zasolenie na poziomie 4 g/dm³, natomiast górna granica to poziom 150 g/dm³. Poziom zasolenia modelowej wody ustalałam z wykorzystaniem chlorku sodu (NaCl) oraz siarczanu sodu (Na₂SO₄) ze względu na skład analizowanych wód geotermalnych i solanek. Na wstępnym etapie badań przyjąłm, że badania przeprowadzone zostaną dla następujących poziomów zasolenia: 4 g/dm³ (3 g NaCl + 1 g Na₂SO₄); 12 g/dm³ (8 g NaCl + 4 g Na₂SO₄); 36 g/dm³ (24 g NaCl + 12 g Na₂SO₄); 150 g/dm³ (100 g NaCl + 50 g Na₂SO₄).

Etap II - badania w skali laboratoryjnej

Po przygotowaniu zasolonej wody i korekcie odczynu do poziomu naturalnej wody geotermalnej czyli do pH = 7,0 ± 0,2, próbki wody w naczyniu szklanym o objętości 2 dm³ umieszczałam w łaźni wodnej celem utrzymania założonej temperatury. Korektę odczynu przeprowadzałam z wykorzystaniem wody wapiennej. Założyłam, że badania wykonane zostaną dla przedziału temperatur 20-50 °C, ze stałym interwałem 5 °C. Badania przeprowadziłam dla następujących temperatur: 20°C, 25°C, 30°C, 35 °C, 40°C, 45°C i 50°C. Dolna granica przyjętego przedziału temperatur, wynikała z faktu, iż do wód termalnych zalicza się złoża wody podziemnej występujące we wszystkich jednostkach geologicznych, z których wydobywana woda ma na wypływie z ujęcia temperaturę co najmniej 20°C. Z kolei górna granica przedziału temperatur wynikała z możliwości balneologicznego wykorzystania odżelazionych wód geotermalnych. Na wstępnym etapie badań przyjęto również założenie, że badania wykonane zostaną przy stałym, wysokim stężeniu żelaza. Żelazo wprowadzone było do wody w postaci czystego siarczanu żelaza, a przyjęta dawka siarczanu wynosiła 0,05 g/dm³. Odpowiadało to stężeniu żelaza na poziomie 18,42 mg/dm³. Żelazo dwuwartościowe w postaci FeSO₄ dodawane było do wody o założonym zasoleniu, po korekcie pH, do próby, która znajdowała się w łaźni wodnej. Pozwalało to na utrzymanie stałej temperatury, dokładnie takiej jaka została założona przy planowaniu badań. Tak przygotowane próby poddawane były napowietrzaniu z wykorzystaniem drobnopęcherzykowych aeratorów laboratoryjnych. W trakcie napowietrzania zachodziło utlenianie kationów żelaza wg reakcji :



Z podanej reakcji wyliczyłam stechiometryczną ilość tlenu na poziomie 0,143 mg O₂ jako potrzebną do utlenienia 1 mg żelaza (Fe²⁺ → Fe³⁺). Biorąc pod uwagę fakt, że w przygotowanej wodzie znajdowało się żelazo w ilości 18,42 mg/dm³ wyliczyłam stechiometryczne zapotrzebowanie na tlen na poziomie 2,63 mg/dm³. Dane literaturowe wskazują, iż w realnym z technologicznego punktu widzenia czasie, do utlenienia żelaza potrzebne są dużo większe ilości tlenu niż te obliczone teoretycznie. Przy założonym w badaniach odczynie na poziomie 7,0 ± 0,2, zgodnie z informacjami zawartymi w literaturze, w celu zabezpieczenia dużej szybkości reakcji potrzebne było od 0,5 do 0,9 mg O₂ /dm³. Ponieważ proces przeprowadziłam metodą napowietrzania i filtracji, utrzymanie proporcji 1:1 tj. 1 mg rozpuszczonego tlenu na każdy mg żelaza (Fe²⁺) było jak najbardziej uzasadnione. Zatem, aby jony żelaza mogły zostać utlenione, należało na każdy litr badanej wody dostarczyć ponad 18 mg tlenu (O₂). Było to możliwe jedynie poprzez odpowiednie wydłużenie czasu aeracji, gdyż jak wiadomo przy wysokim zasoleniu i temperaturze rozpuszczalność tlenu w wodzie jest ograniczona. Eksperymentalnie wyznaczyłam zatem czas reakcji dla niekorzystnych warunków (najwyższe zasolenie i najwyższa temperatura). Czas ten przyjął jako czas napowietrzania dla wszystkich próbek i wynosił on 30 minut. Po napowietrzaniu wodę filtrowałam, a w przefiltrowanej wodzie oznaczałam stężenie żelaza. Żelazo oznaczałam wg normy *PB-16/PL* wyd. nr 1 z dn. 02.01.2014 r. *Kolorymetryczne oznaczanie ogólnej zawartości żelaza i żelaza dwuwartościowego w wodzie o małej zawartości związków organicznych metodą rodankową*. Metoda ta wykorzystuje fakt, iż jony rodankowe w kwaśnym środowisku, reagują z jonami żelaza trójwartościowego tworząc krwistoczerwono zabarwione kompleksy żelazowo-rodankowe. Intensywność zabarwienia mierzona przy długości fali $\lambda = 480$ nm jest proporcjonalna do stężenia żelaza w wodzie. W trakcie prowadzenia badań niezwykle istotnym okazał się fakt wpływu temperatury na uzyskiwany wynik pomiaru. Pomimo braku informacji w opisie do metody, podczas badań zaobserwowałam, że wykonywanie analiz w temperaturze powyżej 30°C obarczone było dużym błędem analitycznym. Oznaczało to, że wszystkie analizy żelaza należało wykonywać w stałej temperaturze. Dlatego przefiltrowaną w zadanej temperaturze wodę, schładzałam do temperatury pokojowej, aby następnie wykonać oznaczenie. Wybór procesów jednostkowych do badań (napowietrzanie i filtracja) podyktowany był faktem ich wysokiej skuteczności w uzdatnianiu wód podziemnych. Jednocześnie zastosowane procesy zapewniały możliwość zachowania się w wodzie pozostałych związków mineralnych, tak istotnych z punktu widzenia jej wykorzystania ich w balneologii. Opisywane w literaturze badania nad uzdatnianiem wód geotermalnych z wykorzystaniem nanofiltracji nie spełniają tego warunku. Niewątpliwą zaletą zaprezentowanego rozwiązania jest również fakt, iż do wody nie dodaje się żadnych substancji chemicznych (silnych utleniaczy, koagulantów), co pozwala na zachowanie jej naturalnego składu, przy jednoczesnym usunięciu związków powodujących problemy eksploatacyjne. Z kolei analizując potencjalne straty ciepła podczas procesów uzdatniania, możliwe jest takie zaprojektowanie układu, aby w sytuacji gdy jest to istotne (pozyskiwanie wody o temperaturze poniżej 30 °C), spadek temperatury nie był znaczący.

Etap III - analiza statystyczna i opracowanie modeli

Przyjęta procedura pozwoliła na utworzenie zbioru danych wyjściowych, obejmujących 54 różne konfiguracje. Celem zminimalizowania błędów popełnianych na etapie analiz chemicznych oraz za względu na konieczność pozyskania odpowiedniej ilości danych niezbędnych do stworzenia zbiorów uczących, walidacyjnych oraz testowych, każdy analizowany przypadek został wykonany z ośmiokrotnym powtórzeniem. Założenia przyjęte na wstępnym etapie badań zostały zweryfikowane podczas wykonywania analiz statystycznych uzyskanych wyników. Analizy te wskazywały na konieczność przeprowadzenia dodatkowych prób dla nowych przypadków. W celu uzupełnienia bazy danych przeanalizowałam dodatkowo 11 przypadków, które przebadalam zgodnie z procedurą

opisaną w etapie II. Ostatecznie badania wykonałam dla 65 przypadków, a każdy przypadek wykonałam z dziesięciokrotnym powtórzeniem. Wyniki badań laboratoryjnych przeanalizowałam, z wykorzystaniem narzędzi informatycznych Statistica Neural Networks Pl 64.0 (StatSoftInc.) oraz Surfer 13 firmy Gambit. Opracowałam cztery modele efektywności procesu odżelaziania warunkowanej poziomem zasolenia wody oraz jej temperatury. Jeden z modeli poddałam szczegółowemu rozkładowi. Na jego bazie przygotowałam przekroje efektywności procesu dla różnych stężeń soli, przy stałej wartości temperatury (z interwałem 5 °C). Otrzymane w ten sposób zbiory danych przeanalizowałam pod względem możliwości dopasowania odpowiedniej prostej funkcji dostatecznie opisującej badane zjawisko.

Etap III - weryfikacja modeli na wodzie naturalnej

Opracowane modele zweryfikowałam na naturalnej wodzie geotermalnej pobranej z 3 różnych ujęć w Wołczynie, Uniejowie i Ustroniu. Wodę naturalną z ujęć poddałam tej samej procedurze badawczej, co wodę modelową zgodnie z metodyką badawczą omówioną w etapie II.

Etap IV - opracowanie procedur uzdatniania wód geotermalnych do celów balneologicznych

Uzyskane wyniki wykorzystałam do opracowania autorskiego algorytmu postępowania odżelaziania wód geotermalnych. Algorytm przygotowałam z uwzględnieniem takich parametrów jak stężenia żelaza, temperatura ujmowanej wody, mineralizacja cieczy oraz jej gęstość. W ramach przygotowanego algorytmu opracowałam 4 procedury postępowania. W pierwszej procedurze służącej obliczeniu wymaganej ilości wody do rozcieńczeń wykorzystano fakt, iż ilości roztworów mieszanych są odwrotnie proporcjonalne do różnicy między stężeniami roztworów wyjściowych i stężeniem otrzymanego roztworu końcowego. W procedurze drugiej służącej obliczeniu temperatury końcowej mieszaniny wykorzystano zasadę zachowania energii w procesach cieplnych. Istotnym podkreślenia jest fakt, że w przypadku wód geotermalnych charakteryzujących się zróżnicowanym zasoleniem zarówno gęstość jak i ciepło właściwe dwóch mieszających się cieczy, będzie zależało od rodzaju rozpuszczonych soli oraz ich stężenia. W procedurze trzeciej opierając się na obliczeniach ładunku żelaza w poszczególnych strumieniach cieczy (wody wodociągowej i wody geotermalnej) opracowano formułę predykcji poziomu stężenia żelaza w mieszaninie. W procedurze czwartej opisano sposób postępowania podczas określania efektywności procesu.

Omówienie wyników badań

Sztuczne sieci neuronowe to programy komputerowe, które są wynikiem prac naukowych z dziedzin nauki związanych ze sztuczną inteligencją. Sieci te z powodzeniem wykorzystywano już w modelowaniu procesów technicznych oraz w modelowaniu wybranych procesów i zjawisk w inżynierii środowiska. Zainteresowanie nimi wynika przede wszystkim z ich praktycznych właściwości, dzięki którym możliwe jest rozwiązywanie problemów trudnych do wyznaczenia metodami standardowymi. W szczególności sieci znalazły szerokie zastosowanie wszędzie tam, gdzie pojawiały się problemy związane z predykcją, klasyfikacją czy sterowaniem. Co ważne, zalety sztucznych sieci neuronowych, nie ograniczają się jedynie do prostego i swobodnego tworzenia modeli nieliniowych. Sieci umożliwiają także kontrolę nad złożonym problemem wielowymiarowym, który przy stosowaniu tradycyjnych metod znacznie utrudniałby proces modelowania. Przykładem mogą tu być zależności nieliniowe z dużą liczbą zmiennych niezależnych wyrażonych w różnych skalach pomiarowych – zarówno ilościowych, jak i rangowych, a nawet jakościowych. Sieci neuronowe samodzielnie uczą się na podanych przez użytkownika przykładach, automatycznie konstruując potrzebne użytkownikowi modele. W ostatnim czasie utarło się

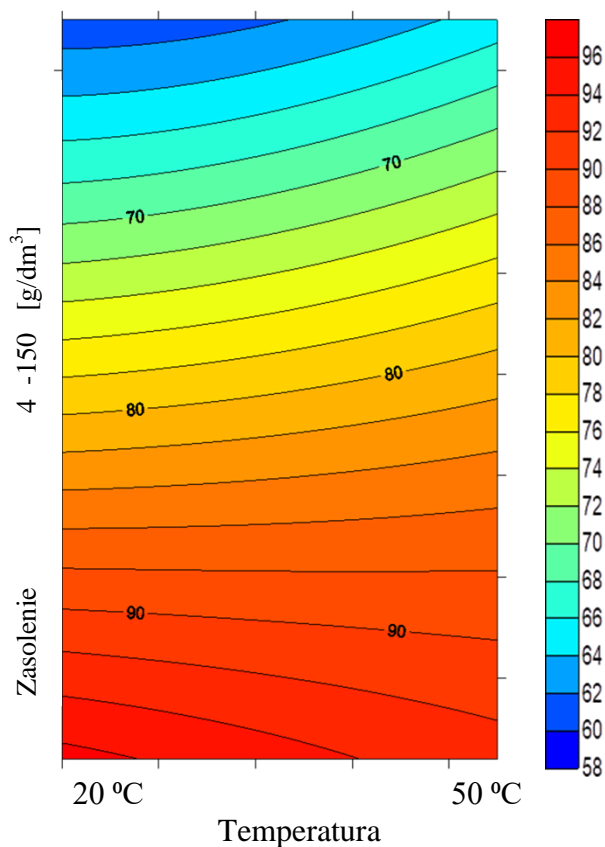
przekonanie, że modelowanie za pomocą sztucznych sieci neuronowych jest podejściem typu „czarna skrzynka”. Autorzy licznych publikacji naukowych, w których do analizy statystycznej wykorzystano sieci neuronowe, nie zastanawiają się nad tym jakie cechy naturalnej (biologicznej) komórki nerwowej posiada sztuczny neuron będący składnikiem sieci, ale skupiają się nad tym, jaki praktyczny problem można rozwiązać. Przedmiotem zainteresowania stały się przede wszystkim problemy do rozwiązania, a sieć jako taka jest tylko i wyłącznie narzędziem, służącym do łatwiejszego modelowania i lepszej interpretacji uzyskanych wyników.

Odżelazianie wody, a w szczególności odżelazianie wód geotermalnych, ze względu na zróżnicowane zasolenie i temperaturę ujmowanej wody, jest dziedziną, w której modelowanie za pomocą sztucznych sieci neuronowych, okazało się bardzo przydatne, co potwierdzają przeprowadzone przeze mnie badania w układzie modelowym. Jak dotąd w literaturze przedmiotu nie odnotowano informacji na temat zastosowania sztucznych sieci w modelowaniu procesów odżelaziania. Tymczasem wykorzystując modele sztucznych sieci neuronowych, oparte o ilościowe równania opisujące relacje pomiędzy zmiennymi procesowymi, można przewidywać podatność wody geotermalnej, pochodzącej z różnych ujęć, na usuwanie żelaza. W szczególności wpływ temperatury i zasolenia na efektywność prowadzonego procesu. Modele przygotowane w oparciu o narzędzia wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe, mogą okazać się również przydatne do przewidywania wybranych wartości parametrów pracy instalacji i urządzeń do odżelaziania wody. Proces uczenia się sieci neuronowych powinien być powiązany ze sprawdzaniem zdolności do uogólniania, a więc powinien zawierać tzw. „fazę uczącą” i „fazę sprawdzającą”. Proces uczenia kontynuowano do chwili uzyskania minimum funkcji celu lub dopóki błąd testowania nie zaczynał znacząco wzrastać, co wskazywało na „przeuczenie sieci”. Na tym etapie analiz wyselekcjonowano 10 sieci generujących wyniki obarczone najmniejszymi błędami. Błąd uczący mieścił się w przedziale od 1,67597 do 2,698751, natomiast błąd walidacyjny przyjmował wartości od 1,821684 do 2,649327. Ostatecznie z 10 wstępnie przeanalizowanych sieci neuronowych wybrano 4:

- sieć neuronowa o radialnych funkcjach bazowych (RBF),
- perceptron wielowarstwowy – dwie sieci MLP:
 - 1) perceptron z jedną warstwą ukrytą MLP1,
 - 2) perceptron wielowarstwowy MLP 2,
- sieci typu Generalized Regression Neural Networks (GRNN),

na bazie których przygotowano modele efektywności procesu odżelaziania w funkcji zasolenia i temperatury. Porównano 4 przygotowane modele pod względem możliwości dopasowania prostych funkcji liniowych opisujących badane zjawisko i do szczegółowego opracowania wybrano model przygotowany w oparciu o sieć MLP1.

Sieci typu MLP to jednokierunkowe topologie neuronowe, uczone, tzw. metodą wzorcową, często nazywaną techniką „z nauczycielem”. Wybrana sieć typu MLP1 miała strukturę obejmującą warstwy: wejściową oraz jedną warstwę ukrytą, złożone z neuronów sigmoidalnych oraz warstwę wyjściową złożoną z neuronów sigmoidalnych lub z neuronów liniowych. Cykl uczenia składał się z następujących etapów: wyznaczenie odpowiedzi neuronów warstwy wyjściowej oraz warstw ukrytych na zadany sygnał wejściowy, wyznaczenie błędu popełnianego przez neurony znajdujące się w warstwie wyjściowej i przesłanie go w kierunku warstwy wejściowej oraz adaptacja wag. Utworzony z wykorzystaniem sieci MLP1 model skuteczności odżelaziania zaprezentowałam na rys.1.



Rys. 1 Model efektywności procesu odżelaziania stworzony z wykorzystaniem sieci MLP1

Na zaprezentowanym modelu wyraźnie widać dominujący wpływ zasolenia na efektywność procesu odżelaziania. W oparciu o model przygotowany z wykorzystaniem sieci MLP1 dokonałam podziału na przekroje efektywności procesu dla różnych stężeń soli przy stałej wartości temperatury (z interwałem 5°C). Otrzymane w ten sposób zbiory danych przeanalizowałam pod kątem możliwości dopasowania odpowiedniej funkcji dostatecznie dobrze odpowiadającej badanemu zjawisku. Dla tak przygotowanych danych określiłam jakości dopasowania dla każdego z modeli poprzez wyliczenie odpowiadających współczynników determinacji R^2 .

Analiza efektywności odżelaziania wody w temperaturze 20°C, wskazywała iż zależność tą z dużą dokładnością opisuje poniższa funkcja liniowa:

$$y = -0,256x + 98,469 \quad (1)$$

dla której współczynnik determinacji dla przygotowanego modelu na bazie sieci MPL1 wynosił $R^2 = 0,9987$. Zaproponowana funkcja liniowa jest funkcją malejącą z jednostajnym spadkiem efektywności na poziomie 0,26% wraz ze wzrostem zasolenia o 1 g/dm³. Spadek ten jest spowodowany najprawdopodobniej ograniczoną możliwością napowietrzania wody w warunkach podwyższonego zasolenia i temperatury. Przy zasoleniu powyżej 40 g/dm³ maksymalna ilość tlenu, możliwa do rozpuszczenia w wodzie

o temperaturze 20 °C wynosi zaledwie 0,99 ml/dm³. Szczegółowa analiza danych wskazywała na fakt, że w zakresie wartości zasolenia [4,40]¹ spadek efektywności był nieznacznie mniejszy niż w przedziale (40, 150). Nie znajdowało to odzwierciedlenia w modelu przy zastosowaniu pojedynczej funkcji aproksymującej. Zatem w celu otrzymania dokładniejszej aproksymacji wykonałam odrębne dopasowania funkcji liniowych dla każdego z wyróżnionych przedziałów. Wzory tych funkcji zaprezentowałam w tabeli 1.

Dla w temperatury 25°C, odnotowano, zależność opisaną funkcją o wzorze:

$$y = -0,2489x + 97,868 \quad (2),$$

gdzie współczynnik determinacji R^2 wynosił 0,9982. Wielomiany wyższego stopnia nie gwarantowały dokładniejszego dopasowania, ponadto nie odzwierciedlały obserwowanej proporcjonalności zmian efektywności i zasolenia. Zaprezentowana funkcja liniowa była funkcją malejącą wskazującą na jednostajny spadek efektywności wraz ze wzrostem zasolenia rzędu około 0,25%/(g/dm³). W tym przypadku szczegółowa analiza danych pozyskanych z modelu MPL1 wskazywała na fakt, że w zakresie wartości zasolenia [4,40] spadek efektywności jest nieznacznie mniejszy niż w przedziale (40, 150). Dla wyznaczonych przedziałów wartości zasolenia, różnica we współczynnikach kierunkowych była niewielka, ale zauważalna; w przedziale [4,40] współczynnik był wynosił -0,1419, podczas gdy w przedziale (40,150) -0,2276. Wzory dla tych funkcji zaprezentowałam w tabeli 1.

Analizując kolejny przebieg efektywności procesu odżelaziania wody w temperaturze 30°C, odnotowano, że zależność ta z dużą dokładnością może być opisana funkcją liniową:

$$y = -0,2425x + 97,44 \quad (3),$$

dla której współczynnik determinacji $R^2=0,9961$. Podobnie jak w poprzednich przypadkach funkcja liniowa była funkcją malejącą. Zaobserwowano jednostajny spadek efektywności procesu wraz ze wzrostem zasolenia, rzędu 0,24%/(g/dm³). Zatem spadek ten był nieznacznie niższy niż ten odnotowany dla temperatury 25°C. Analizując szczegółowo dane, wskazać należy trzy wyróżniające się obszary danych: dla wartości zasolenia z przedziałów [4,27], (27,92] oraz (92,150). Spadek efektywności w każdym z tych przedziałów był różny. Informacja ta nie została odzwierciedlona przy zastosowaniu pojedynczej funkcji aproksymującej. Zatem podobnie jak dla mniejszych temperatur w celu otrzymania dokładniejszej aproksymacji wykonałam odrębne dopasowania funkcji liniowych dla każdego z wyróżnionych przedziałów, a otrzymane funkcje zaprezentowałam w tabeli 1.

Efektywność odżelaziania wody w temperaturze 35°C, można opisać zależnością liniową (4):

$$y = -0,2347x + 97,122 \quad (4).$$

Współczynnik determinacji R^2 dla funkcji opisanej wzorem (4) był wysoki i wynosił 0,9952. Zaproponowana funkcja liniowa była malejąca z jednostajnym spadkiem efektywności wraz

¹ Kursywą oznaczono przedziały funkcji

ze wzrostem zasolenia rzędu około $0,23\%/(g/dm^3)$. Analizując szczegółowo pozyskane dane, można zauważyć trzy wyróżniające się obszary danych: dla wartości zasolenia z przedziałów $[4, 34]$, $(40, 92]$ oraz $(92, 150)$. Spadek efektywności w każdym z tych przedziałów jest różny dlatego w celu otrzymania dokładniejszej aproksymacji wykonałam po raz kolejny odrębne dopasowania funkcji liniowych dla każdego z charakterystycznych wyróżnionych przedziałów. Wynik tej aproksymacji przedstawiłam w tabeli 1. Różnice we współczynnikach kierunkowych były niewielkie, ale zauważalne; i tak w przedziale $[4,34]$ był w przybliżeniu równy $-0,1977$, w przedziale $(40, 92]$ – wynosił $-0,2568$, podczas gdy w przedziale $(92,150)$ przyjmował wartość $-0,2636$. W tym przypadku efektywność procesu, zmienia się w punkcie, w którym zasolenie wody wynosi $40 g/dm^3$, przy czym dodatkowo dla zasolenia powyżej $92 g/dm^3$ można wyodrębnić nowy obszar, dla którego spadek efektywności procesu odżelaziania był nieco wyższy.

Zależność efektywności odżelaziania wody w temperaturze $40^{\circ}C$, od zasolenia można opisać wzorem:

$$y = -0,2142 x + 95,838 \quad (5),$$

dla której współczynnik determinacji R^2 był wysoki i wynosił $0,9935$. Zaproponowana funkcja liniowa była funkcją malejącą o spadku efektywności $0,21\%/(g/dm^3)$. Analizując uzyskane wyniki można zauważyć dwa wyróżniające się obszary danych: dla wartości zasolenia z przedziałów $[4,40]$, $(40, 150)$. Spadek efektywności w każdym z tych przedziałów jest wyraźnie inny – w pierwszym mniejszy, w drugim większy (tabela 1).

Zależność efektywności odżelaziania wody w temperaturze $45^{\circ}C$ od zasolenia można opisać wzorem funkcji kwadratowej wg równania (6):

$$y = -0,0005 x^2 - 0,1391 x + 94,115 \quad (6).$$

Dla zaprezentowanej funkcji współczynnik determinacji R^2 wynosił $0,9982$. Zaproponowana funkcja jest malejąca w rozpatrywanym przedziale i nie obserwuje się w nim ekstremów lokalnych. I w tym przypadku pozyskane dane, pozwalają zauważyć dwa wyróżniające się obszary danych: dla wartości zasolenia z przedziałów $[4, 45]$ oraz $(45, 150)$. Dokładniejszą aproksymację wykonaną dla odrębnego dopasowania funkcji liniowych dla każdego z wyróżnionych przedziałów zaprezentowałam w tabeli 1.

Dla najwyższej analizowanej temperatury wody $50^{\circ}C$ podczas badań odżelaziania, efektywność procesu można opisać wzorem (7):

$$y = -0,0005x^2 - 0,1115x + 93,223 \quad (7).$$

Dla przyjętej funkcji kwadratowej współczynnik determinacji R^2 jest wysoki i osiąga wartość $0,9978$. Zaproponowana funkcja jest również malejąca, w rozpatrywanym przedziale nie odnotowano ekstremów lokalnych. Trzy wyróżniające się obszary danych to: dla wartości zasolenia z przedziałów $[4, 22]$, $(27, 80]$ oraz $(86, 150)$. Spadek efektywności w pierwszych dwóch przedziałach był wyraźnie wolniejszy niż w przedziale trzecim (tabela 1). Różnica we współczynnikach kierunkowych w pierwszym i drugim przedziale nie była zauważalna.

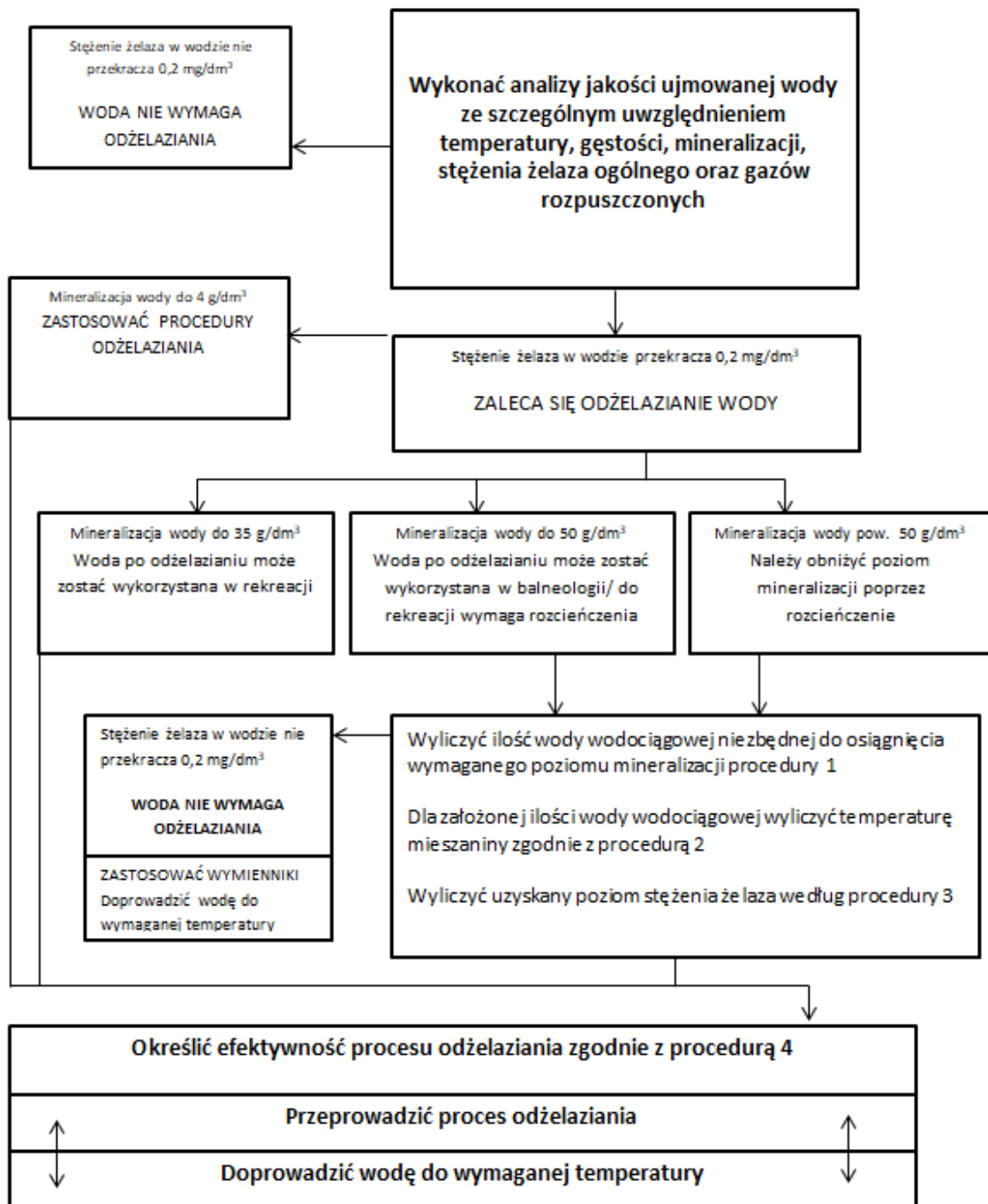
Istotna była jednak różnica pomiędzy nimi, a trzecim charakterystycznym przedziałem. W przedziałach $[4,22]$ i $(27, 80)$ współczynniki kierunkowe osiągały poziom $-0,18$, podczas gdy w przedziale $(86,150)$ współczynnik był o 30 % wyższy i wynosił $-0,2388$.

Tabela 1. Efektywność procesu odżelaziania w funkcji zasolenia dla zmiennej temperatury

Temperatura [°C]	Przedział zasolenia [g/dm ³]	Efektywność procesu jako funkcja zasolenia
20	$[4,40]$	$y = -0,2218 x + 97,653$ (8)
	$(40, 150)$	$y = 0,2604 x + 93,898$ (9)
25	$[4,40]$	$y = -0,1419 x + 93,898$ (10)
	$(40, 150)$	$y = -0,2276 x + 97,954$ (11)
30	$[4,27]$	$y = -0,1836 x + 93,819$ (12)
	$(27, 92]$	$y = -0,1815 x + 95,329$ (13)
	$(92,150)$	$y = -0,2388 x + 100,46$ (14)
35	$[4,34]$	$y = -0,1977 x + 95,792$ (15)
	$(34, 92]$	$y = -0,2568 x + 99,105$ (16)
	$(92,150)$	$y = -0,2636 x + 100,05$ (17)
40	$[4,40]$	$y = -0,1419 x + 93,898$ (18)
	$(40, 150)$	$y = -0,2298 x + 97,466$ (19)
45	$[4, 45]$	$y = -0,1419 x + 93,898$ (20)
	$(45, 150)$	$y = -0,2276 x + 97,954$ (21)
50	$[4, 27]$	$y = -0,1836 x + 93,819$ (22)
	$(27, 86]$	$y = -0,1815 x + 95,329$ (23)
	$(86,150)$	$y = -0,2388 x + 100,46$ (24)

W efekcie przeprowadzonych badań stworzono autorski algorytm postępowania przy uzdatnianiu wód geotermalnych i solanek. Algorytm ten zaprezentowano na rysunku 2.

Zastosowanie algorytmu ułatwi podjęcie właściwych decyzji podczas projektowania systemów uzdatniania wody jak i podczas optymalizacji pracy istniejących obiektów. Zgodnie z przyjętym algorytmem wodę surową należy poddać szczegółowej analizie fizykochemicznej, ze szczególnym uwzględnieniem takich parametrów jak temperatura, gęstość ρ , mineralizacja wody (s_1) oraz stężenie żelaza ogólnego (f_1). Jednocześnie należy określić rodzaj i poziom gazów rozpuszczonych w wodzie geotermalnej, ze szczególnym uwzględnieniem stężenia agresywnego dwutlenku węgla, metanu i siarkowodoru. Jeżeli stężenie żelaza w wodzie nie przekracza wartości $0,2 \text{ mg/dm}^3$, woda nie wymaga odżelaziania, przy czym obecność gazów rozpuszczonych może wymuszać konieczność jej odgazowania. Jeżeli stężenie żelaza jest wyższe od $0,2 \text{ mg/dm}^3$, a jej mineralizacja nie przekracza 4 g/dm^3 , wodę należy poddać procesom odżelaziania biorąc pod uwagę uproszczony model zaprezentowany w tab. 1. Jeżeli mineralizacja wody nie przekracza 35 g/dm^3 woda po odżelazianiu może zostać wykorzystana na cele rekreacji. Dla wody o mineralizacji powyżej 35 g/dm^3 planowanej do zastosowania w rekreacji oraz wody o mineralizacji powyżej 50 g/dm^3 planowanej do wykorzystania w kąpielach leczniczych, konieczne jest rozcieńczenie.



Rys. 2. Algorytm postępowania podczas uzdatniania wód geotermalnych wymagających odżelaziania [opracowanie własne]

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Ujmowane wody geotermalne i solanki często charakteryzują się podwyższonym stężeniem żelaza, co stanowi istotny problem w eksploatacji urządzeń technicznych,
2. Odżelazianie wód geotermalnych i solanek może być prowadzone z wykorzystaniem procesów które są stosowane w uzdatnianiu wód podziemnych jednak ich efektywność zależy od jest poziomu zasolenia i temperatury wody,

3. W większości przypadków, wraz ze wzrostem zasolenia i temperatury spada efektywność procesu, jednak na zaprezentowanym modelu znajdują się obszary, dla których pomimo wzrostu zasolenia i temperaturą efektywność procesu nieznacznie wzrasta,
4. Opracowany model w procedurach symulacyjnych pozwala wyznaczyć warunki w których proces odżelaziania będzie najbardziej efektywny i tak dobrać układ technologiczny, aby osiągnąć wymagane usunięcie związków żelaza (8-23),
5. Przeprowadzone badania wraz z opracowanymi modelami stanowią pierwszy etap realizacji prac nad określaniem efektywności usuwania żelaza z wód geotermalnych i solanek. Etap ten wytycza dalsze kierunki rozwoju badań nad uzdatnianiem oraz utylizacją wód geotermalnych i solanek. Kolejnym obszarem dalszych prac badawczych będzie weryfikacja uzyskanych w warunkach modelowych wyników badań w praktyce, czyli sprawdzenie efektywności odżelaziania w skali przemysłowej.

Podsumowanie wyników pracy własnej

Osiągnięcie naukowe w postaci monografii pt. **Modelowanie efektywności odżelaziania wód geotermalnych** stanowi zupełnie nowe podejście do nieporuszanego dotąd problemu odżelaziania wód geotermalnych. Zrealizowane własne prace doświadczalne pozwoliły na analizę i przedyskutowanie najważniejszych relacji między rozpatrywanymi zmiennymi, które bezpośrednio i pośrednio wpływają na rezultat zawiązany z zależnościami występującymi między temperaturą, zasoleniem oraz efektywnością procesu odżelaziania prowadzonego w celu uzdatnienia wód geotermalnych. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie, szczególnie dla obserwacji zjawisk zachodzących podczas procesu odżelaziania wód geotermalnych. Opracowane modele efektywności procesu pozwoliły na stworzenie algorytmu postępowania ułatwiającego podejmowanie właściwych decyzji podczas projektowania i eksploatacji systemów uzdatniania wód geotermalnych.

C. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Publikacje naukowe zaprezentowane w pt IE załącznika 4 można podzielić na 3 grupy. Pierwsza grupa jest kontynuacją badań rozpoczętych jeszcze przed doktoratem, a dotyczących szeroko pojętego uzdatniania wód podziemnych. Druga grupa jest efektem podejmowania przeze mnie różnych tematów naukowych, często inspirowanych współpracą z firmami, organizacjami pozarządowymi, organizacjami wspierania biznesu czy też pracownikami innych jednostek badawczo-naukowych, z którymi współpracowałam podczas realizacji projektów finansowanych ze środków unijnych. Publikacje te w głównej mierze dotyczyły problemów gospodarki wodno-ściekowej w przedsiębiorstwach, wdrażania innowacji, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów środowiskowych tej działalności. Trzecią grupę stanowią artykuły o tematyce związanej w powstawaniem ubocznych produktów dezynfekcji w wodach basenowych.

1. Uzdatnianie wód podziemnych

Temat ten podejmowany był przeze mnie od początku mojej działalności naukowej. Szczególną uwagę poświęciłam wodom podziemnym o podwyższonej zawartości związków organicznych. Swoją uwagę skupiłam na zastosowaniu procesu koagulacji w uzdatnianiu wód podziemnych. Rezultatem prowadzonych prac badawczych było uzyskanie dogłębnej wiedzy związanej z skutecznym usuwaniem związków żelaza i manganu z tzw. „wód trudno podatnych na uzdatnianie”. Przeprowadzone badania wskazały na możliwość obniżenia stężenia związków organicznych, bez rozdzielania połączeń chelatowych na związki organiczne, żelazo i mangan. Badania przeprowadzono zarówno w skali laboratoryjnej jak i ułamkowo technicznej. Uzyskane rezultaty badań zostały opublikowane w pracach wymienionych w załączniku 4 w punktach od 1.2.8. do 1.2.10 oraz 2.2.13, 2.2.15, 2.2.16, 3.1.2, 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8, 5.2.9, 6.2.9, 6.2.10, 7.2.6. oraz 7.2.7. Uzyskane wyniki były też podstawą do opracowania wytycznych optymalizacji procesu technologicznego w Stacji Uzdatniania Wody Zawada koło Opola, w której dla kluczowego procesu jakim była koagulacja zaproponowano zastosowanie polichlorosiarczanu glinu WAC HB wspomaganego syntetycznym flokulantem Magnafloc LT 25 lub wapnem. Zastosowanie tych reagentów zwiększyło efektywność usuwania żelaza, w szczególności tego, występującego w formie chelatów. Zaproponowany układ technologiczny, nie wiązał się z koniecznością działań inwestycyjnych, gdyż w całości był oparty o istniejące na stacji urządzenia. Wdrożenie zaproponowanego rozwiązania (karta wdrożenia w załączniku) pozwoliło na znaczące obniżenie dawki koagulantu (z 33 g siarczanu glinu na 1 g polichlorosiarczanu glinu WAC HB), co przełożyło się na efekty ekonomiczne, a także ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, będącego skutkiem konieczności zagospodarowania mniejszej ilości osadów poprocesowych.

Drugim obszarem podejmowanych przez mnie badań było uzdatnianie wód o podwyższonej temperaturze. W regionie opolskim panują warunki sprzyjające występowaniu niskozmineralizowanych wód termalnych. Wody te zarówno w Opolu jak i w pobliskim Ozimku wykorzystywane są do zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Obserwacje i badania poczynione podczas eksploatacji w/w ujęć wody były też inspiracją do szerszego zainteresowania się problemem, który został dogłębnie omówiony w monografii wskazanej jako osiągnięcie naukowe. Przed podjęciem badań opisanych w monografii, dokonano próby oceny wpływu temperatury na efektywność odżelaziania wody naturalnej czerpanej ze źródła w Zawdzie. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracach wymienionych w Załączniku 4 punkty 1.2.7, 2.2.12, 2.2.18, 6.2.17 oraz 7.2.5.

Jednym z tematów, których podjęłam się w swojej pracy naukowej był problem radonu w wodzie do picia. Zagadnieniem tym zainteresowałam się w roku 2012, będąc na

stażu w przedsiębiorstwie wodociągowym Krnovske Vodovody a Kanalizace s.r.o. Doświadczenia zdobyte w tym obszarze opisałam w czasopiśmie branżowym Instal (zał. 4 pkt. 2.2.10 oraz 6.2.6). Wtedy w Polsce problem ten, nie był jeszcze poruszany. Wraz z aktualizacją w listopadzie 2015 rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, implementującej dyrektywę Euratom, wszystkie podmioty zajmujące się dostawami wody do konsumenta zostały zobligowane do przeprowadzenia pierwszych badań poziomu stężenia substancji w zakresie radonu, izotopów radu: Ra-226 i Ra-228 oraz trytu. Zgodnie z wymogami legislacyjnymi przedsiębiorstwa wodociągowe przeprowadziły we wszystkich swoich ujęciach badania radioaktywności wody. Głębzyckie Wodociągi i Kanalizacja sp. z o.o. oraz Zakład Gospodarki Komunalnej w Branicach,

zidentyfikowały obecność radonu w wodzie u odbiorcy w stężeniach przekraczających 100 Bq/dm³ w wodzie pochodzącej z dwóch ujęć. Sytuacja taka wymagała przygotowania szybkich programów naprawczych i rozwiązania problemu. Badania przeprowadzone w ujęciu Mokre w przypadku Głębzyckie doprowadziły do opracowania skutecznej i ekonomicznej technologii usuwania radonu z wykorzystaniem istniejących obiektów systemu zaopatrzenia w wodę. W przypadku Branic wraz z Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa rozpoczęto program badań pozwalający na określenie stężenia radonu w pomieszczeniach mieszkalnych. Wyniki tych badań wskazywać będą kierunki dalszego działania. Ze względu na czasochłonność tego typu analiz, jak dotąd opublikowano tylko część prac (zał. 4 pkt. 4.2.1, 4.2.4, 4.2.5).

Kolejnym podejmowanym przez mnie tematem związanym z jakością wód podziemnych był problem twardości. Region opolski jest regionem bogatym w zbiorniki wody podziemnej, jednak wiele z nich charakteryzuje woda o wysokiej twardości. Parametr pozytywnie wpływający na zdrowie konsumentów jest bardzo uciążliwym problemem podczas podgrzewania wody w gospodarstwach domowych. Wykonano szereg prac i analiz, których wyniki zaprezentowano w pkt. 2.2.2, 2.2.8, 4.2.2 oraz 6.2.7. Wyniki przeprowadzonych badań wykorzystano podczas kampanii edukacyjnej dotyczącej jakości wody pitnej w Opolu.

Podsumowanie tej części prac jest szereg ekspertyz wykonanych na potrzeby zakładów wodociągowych (zał. 5 F pkt. 3-7, 9, 12), które są niewątpliwym uzupełnieniem dorobku naukowego i świadczą o ścisłej współpracy z przemysłem.

2. Innowacje, nowe technologie i współpraca z otoczeniem biznesowym

W maju 2002 roku, rozpocząłem pracę w Regionalnym Centrum Innowacji i Transferu Technologii działającym przy Górnośląskiej Agencji Przekształceń Przedsiębiorstw. Pracując jako ekspert ds. ochrony środowiska zajmowałam się wspieraniem przedsiębiorstw w działaniach na rzecz ochrony środowiska, jednocześnie pogłębiałam swoją wiedzę z zakresu wdrażania innowacji i nowych technologii. Szczególną uwagę poświęciłam zagadnieniom wdrażania innowacji i nowych technologii w branży wodociągowej. Swoje doświadczenia zaprezentowałam w formie artykułów naukowych wymienionych w załączniku 4 pkt. 2.2.3, 2.2.4, 2.2.9, 2.2.17, 6.2.5, 6.2.12, 6.2.13, 6.2.14, 6.2.16, 6.2.18. Praca i doświadczenia zdobyte w centrum transferu technologii oraz pobyt w Stanford University w ramach rządowego programu TOP 500 Innovators jeszcze bardziej ukształtowały moje podejście do badań, jako „produktu” do komercjalizacji. Po powrocie do Polski opracowałam technologię odżelaziania wody geotermalnej, a następnie przygotowałam zgłoszenie patentowe PL402694 (A1) Sposób uzdatniania, zwłaszcza odżelaziania wody geotermalnej i układ do uzdatniania, zwłaszcza odżelaziania wody geotermalnej. Moje

doświadczenia związane z komercjalizacją tej technologii opisałam w szeregu prac naukowych (zał. 4. pkt. 4.2.6, 4.2.8, 4.2.10).

W ramach współpracy z otoczeniem biznesowym prowadziłam projekty badawcze na rzecz przedsiębiorstw, a wyniki zrealizowanych prac opublikowałam w czasopiśmie (zał. 4 pkt. 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5, 1.2.6, 2.2.11, 4.2.16, 4.2.19, 5.2.3, 6.2.4). Wśród zrealizowanych badań na szczególną uwagę zasługuje cykl badań sfinansowany przez spółkę TAURON WYTWARZANIE dotyczących zastosowania nanosrebra do kondycjonowania wody chłodzącej. Pomimo, iż badania wykazały dużą skuteczność nanosrebra w dezaktywacji mikroorganizmów w układach chłodni kominowej, po analizie środowiskowej rozwiązania odstąpiono od wdrożenia tego rozwiązania w skali przemysłowej.

3. Uboczne produkty dezynfekcji wody basenowej

Chlor i jego związki są bardzo popularnym i skutecznymi środkami dezynfekcyjnymi wody basenowej. Niszczą skutecznie mikroorganizmy patogenne, powodując nieodwracalną destrukcję komórek, zakłócenie procesów metabolicznych naruszając przy tym biosyntezę i wzrost. Niestety chlor i jego związki, jako silne utleniacze, wchodzi w reakcje chemiczne z obecnymi w wodzie basenowej związkami organicznymi, tworząc uboczne produkty dezynfekcji. Należą do nich między innymi halogenowe związki organiczne – THM. Ilości tych związków są stosunkowo niewielkie, jednak ze względu na swój silnie rakotwórczy, mutageny, a niekiedy toksyczny charakter powinny być one w ścisły sposób monitorowane. Do roku 2015 w polskim prawie nie było rozporządzenia regulującego ten problem. Po uzyskaniu dofinansowania na zakup chromatografu gazowego i pozyskaniu środków z WFOSiGW w Opolu na monitoring jakości wody w wybranych obiektach województwa opolskiego, przeprowadziłam szereg badań, których wyniki opublikowałam w pracach wymienionych w załączniku 4 pkt. 1.2.1, 2.2.1, 2.2.5, 2.2.6, 4.2.3, 4.2.14. Wyniki badań posłużyły też do przeprowadzenia kampanii edukacyjnej służącej ograniczeniu powstawania THM-ów w wodach basenowych.

Podsumowanie dorobku naukowego

Moją działalność naukową po uzyskaniu stopnia naukowego doktora można podsumować **94** publikacjami; w tym **1** monografią oraz **1** redakcją monografii wieloautorskiej, **27** rozdziałami w monografiach (w tym **8** w j. angielskim), **10** artykułami w czasopiśmie z listy filadelfijskiej (w tym **5** autorskich), **19** publikacjami w recenzowanych czasopiśmie oraz **36** pozycjami w materiałach konferencyjnych (w tym **9** notowanych na Web of Science). Dodatkowo, w trakcie kariery naukowej wygłosiłam **33** referatów, w tym **14** na konferencjach międzynarodowych.

Sumaryczny *impact factor* **10** publikacji wynosi **8,045** według wartości *IF* z daty publikacji.

Liczba cytowań według bazy Web of Science wyniosła **15**, a w bazie Scopus wynosi **33**.

Index Hirscha według bazy Web of Science wyniósł **2**, w bazie Scopus wynosi **4**.

Byłam recenzentem **9** artykułów naukowych, w tym **2** dla czasopiśmie z listy filadelfijskiej.

D. CHARAKTERYSTYKA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO I ORGANIZACYJNEGO**Działalność dydaktyczna**

W swojej działalności dydaktycznej prowadziłam wszystkie formy zajęć, tj. wykłady, ćwiczenia tablicowe i laboratoryjne, seminaria oraz projekty ze studentami kierunków *Inżynieria Środowiska, Energetyka, Mechanika i Budowa Maszyn* oraz *Mechatronika* na studiach stacjonarnych, niestacjonarnych, inżynierskich i magisterskich.

Od 2007 r. na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej prowadzę wykłady, i zajęcia laboratoryjne w języku angielskim dla studentów programu Erasmus i Erasmus⁺, a od lutego 2018 roku dla studentów zagranicznych na kierunkach Inżynieria Środowiska oraz Mechanika i Budowa Maszyn (załącznik 5 III pkt I).

Od roku 2013 prowadzę również wykłady z przedmiotu: Prawo własności intelektualnej, na wszystkich kierunkach studiów realizowanych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Autorski program, opracowany na bazie doświadczeń zdobytych w Stanford University, cieszy się dużym zainteresowaniem studentów.

Treści programowe, przygotowane sylabusy i instrukcje oraz materiały dydaktyczne, do wszystkich przedmiotów stanowią mój autorski wkład do dydaktyki prowadzonej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej.

Jestem opiekunem laboratorium dydaktycznego z Technologii wody i ścieków. Stale pozyskuję środki na rozwój tego laboratorium oraz dodatkowe zajęcia dla studentów. Aktywnie wykorzystuję laboratorium w edukacji powszechnej oraz działaniach marketingowych uczelni organizując zajęcia dla uczniów szkół średnich i mieszkańców regionu.

Aktywnie uczestniczę w programie wymiany międzynarodowej studentów LLP Erasmus. Na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej, prowadzę w języku angielskim zajęcia z przedmiotów Water technology i Waste water technology. W latach 2007 – 2018 wygłosiłam ponad 30 wykładów z zakresu technologii wody na zagranicznych uczelniach partnerskich (załącznik 5 III pt I). W roku 2018 przeprowadziłam też cykl wykładów pt. Sustainable Development for Engineers w Ternopil Ivan Puluj National Technical University.

Od 2005 r. byłam promotorem 95 prac dyplomowych (40 inżynierskich i 55 magisterskich). W 2017 roku byłam opiekunem pracy magisterskiej studentki z Argentyny, która obroniona została w Salerno University. Nadzorowałam i aktywnie uczestniczyłam w programach badawczych realizowanych przez studentów przygotowujących prace dyplomowe, co zaowocowało publikacjami (zał. 4, pkt. 2.2.2, 4.2.13, 4.2.14).

Byłam jednym z 4 wykładowców na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej, którzy zostali wybrani przez studentów do prowadzenia zajęć fakultatywnych w ramach projektu „Czas inżynierów - studia zamawiane na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

W ocenie okresowej pracowników, dokonywanej zarówno przez moich zwierzchników, jak i studentów otrzymuję bardzo dobrą ocenę. W rankingu nauczycieli akademickich, przygotowanym przez JM Rektora na podstawie ocen studentów, znalazłam się w pierwszej dziesiątce najlepszych wykładowców Wydziału Mechanicznego.

Dodatkowo od 2002 do 2018 r. pracowałam jako trener – wykładowca. Na zaproszenie wielu przedsiębiorstw, instytucji pozarządowych oraz administracji samorządowej prowadziłam szkolenia z zakresu prawa ochrony środowiska, a w szczególności prawa wodnego. W ramach prac zleconych, prowadziłam też zajęcia dydaktyczne na studiach

podyplomowych, realizowanych przez Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

Działalność organizacyjna

Początek mojej pracy na Uczelni przypada na okres tworzenia na Politechnice Opolskiej nowego kierunku kształcenia - Inżynierii Środowiska. Na potrzeby kierunku stworzyłam laboratorium Technologii wody i ścieków, którego od początku jestem kierownikiem. Na modernizację laboratorium udało mi się czterokrotnie pozyskać dofinansowanie: Komitet Badań Naukowych (2002); WFOSiGW w Opolu (2006) i (2014) oraz INTERREG PL-CZ (2019).

Od samego początku swojej pracy, byłam mocno zaangażowana w działalność organizacyjną, przejawiającą się uczestnictwem w różnego rodzaju sekcjach, zespołach i komisjach. W latach 2005 – 2013 byłam przewodniczącą Sekcji Promocji Wydziału Mechanicznego, aktywnie uczestniczyłam w promocji Wydziału na różnego rodzaju imprezach i targach edukacyjnych, dniach maturzysty czy prezentacjach międzyuczelnianych w tym min. Festiwal Nauki, Kreator Młodych Talentów, Dni Kariery Zawodowej oraz krajowej akcji popularyzującej edukację techniczną kobiet pt. Dziewczyny na Politechniki. Wielokrotnie uczestniczyłam w akcjach promocyjnych Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej realizowanych w szkołach średnich na terenie Opolszczyzny. W latach 2008 – 2012 byłam członkiem komisji ds. siatek, planów i programów studiów odpowiedzialnym za przygotowanie, weryfikację i aktualizację programów, planów i siatek na kierunku Inżynieria Środowiska. W latach 2011 - 2012 uczestniczyłam w dostosowaniu programów kształcenia dla kierunków studiów I i II stopnia prowadzonych na Wydziale Mechanicznym do Krajowych Ram Kwalifikacyjnych. Za działalność w tym zakresie członkowie komisji zostali wyróżnieni zespołową nagrodą Rektora PO III stopnia. W roku 2013 zostałam powołana przez Dziekana Wydziału Mechanicznego do Komisji ds. jakości kształcenia na kierunku Inżynieria Środowiska. Byłam też członkiem zespołu, który przygotował dokumentację do akredytacji kierunku Inżynieria Środowiska.

Prowadząc działalność o charakterze naukowo - badawczym współpracowałam z wieloma ośrodkami w naukowych kraju i za granicą. Współpracowałam między innymi z takimi ośrodkami jak: Politechnika Śląska w Gliwicach, Główny Instytut Górnictwa, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Instytut Badań Systemowych PAN oraz VSB - Technical University of Ostrava, Salerno University, University of Pavia.

Jestem ekspertem zarejestrowanym w Krajowym Systemie Usług dla Małych i Średnich Przedsiębiorstw (KSI KSU), ekspertem Naczelnej Organizacji Technicznej Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych. Od 2015 roku Ekspertem ds. Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS) w Ministerstwie Rozwoju - obecnie Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii. Jestem również recenzentem wniosków składanych do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju; ekspertem oceniającym projekty w ramach Priorytetu V Działania 5.1. Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2007-2013; ekspertem oceniającym projekty w ramach pilotażu Wsparcie na pierwsze wdrożenie wynalazku w ramach osi priorytetowej 4 Inwestycje w innowacyjne przedsiębiorstwa w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka; ekspertem gospodarczym, oceniającym wnioski o dofinansowanie projektów B+R składanych w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (PO IR) oraz Ekspertem Komisji Oceny Projektów w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2007-2013. Z ramienia Fundacji Partnerstwo dla Środowiska byłam Członkiem Kapituły oceniającej wnioski w konkursie „Europejskie Nagrody Biznes dla Środowiska”.

Jestem członkiem międzynarodowej organizacji International Water Association (IWA) – organizacji non profit, której celem jest stworzenie światowej sieci profesjonalistów oraz propagowanie najlepszych praktyk w zakresie zrównoważonej gospodarki wodnej. Jestem również członkiem Klubu Ochrony Środowiska Śląska Opolskiego i Stowarzyszenia Absolwentów Programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Top 500 Innovators: Science - Management – Commercialization.

Współorganizowałam konferencje regionalne takie jak: *HYDROINTEGRACJE* (2009) i (2010); *Forum wodne* (2009); *Nowe technologie w gospodarce wodno-ściekowej* (2009); *Źródła termalne i solanki szansą rozwoju dla Śląska* (2008); *Zasoby wodne triasu opolskiego i ekologia jezior turawskich* (2005); *Oddziaływanie przedsiębiorstw na środowisko* (2005).

Jestem członkiem komitetu organizacyjnego cyklicznych konferencji naukowych: *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody* oraz *International Conference of Environment, Energy and Materials Systems EEMS*.

Aktywnie uczestniczę w działalności społecznej. Od 2002 współpracuję z organizacją pozarządową Fundacja Partnerstwo dla Środowiska, której misją jest wspieranie rozwoju zrównoważonego poprzez budowanie partnerstwa, społeczeństwa obywatelskiego, proponowanie nowych rozwiązań oraz upowszechniania sprawdzonych wzorów działań przyjaznych dla środowiska. Za zaangażowanie w projektach zostałam wyróżniona przez kapitułę konkursu „ZIELONY CZEK”, corocznie organizowanego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

Od wielu lat zajmuję się również działalnością edukacyjną w odniesieniu do małych i średnich przedsiębiorstw. W ramach projektów realizowanych przez Fundację Partnerstwo dla Środowiska, Górnośląską Agencję Przekształceń Przedsiębiorstw, Naczelną Organizację Techniczną oddział Opole oraz Regionalną Izba Gospodarcza w Katowicach prowadziłam szereg działań mających na celu uświadomienie przedsiębiorcom efektów ich oddziaływania na środowisko naturalne. Jako ekspert tych organizacji przeprowadziłam kilkadziesiąt audytów środowiskowych w MSP proponując rozwiązania, których efekty wpłynęły na znaczące ograniczenie zużycia mediów, surowców, ilości wytworzonych odpadów oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń do środowiska.

Jednym z większych moich sukcesów zawodowych był udział w pilotażowym programie stażowym Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Top 500 Innovators Science, Management, Commercialization. W ramach programu odbyłam staż szkoleniowy w jednej z najlepszych uczelni na świecie - na Stanford University w Dolinie Krzemowej w USA (29.04.2014 – 3.07.2014). Zajęcia prowadzone przez wybitnych wykładowców (m. in. doradcę prezydenta Obamy) oraz wizyty studyjne w największych światowych firmach (Google, NASA, Intel itp.) umożliwiły mi poznanie i zrozumienie filozofii kierującej zarówno sposobem prowadzenia zajęć dydaktycznych, realizacji prac badawczych, jak i współpracy z przedsiębiorcami w najbardziej innowacyjnym miejscu na świecie. Czerpiąc z tych doświadczeń staram się w swojej pracy dydaktycznej zwiększać rolę zajęć interaktywnych, pracy zespołowej i kreatywnego myślenia, zaś w pracy naukowej wdrażać ideę T-shaped people, jako podstawy współpracy interdyscyplinarnej, a w konsekwencji wielokierunkowego rozwoju oraz innowacyjnych rozwiązań.

Nagrody i wyróżnienia

Za moją działalność naukową i zawodową zostałam nagrodzona między innymi:

1. Indywidualne Wyróżnienie JM Rektora Politechniki Opolskiej II stopnia za działalność naukową (2016),
2. Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej- osiągnięcia organizacyjne (2013),
3. Zespołowa Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej - osiągnięcia dydaktyczne (2011),
4. Indywidualna Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej II stopnia w kategorii osiągnięć naukowych (2010),
5. Medal Komisji Edukacji Narodowej za szczególne zasługi dla oświaty i wychowania (2010),
6. Indywidualna Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej II stopnia w kategorii osiągnięć naukowych (2008),
7. Indywidualna Nagroda JM Rektora Politechniki Opolskiej III stopnia w kategorii osiągnięć naukowych (2007),
8. Nagroda Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach „Zielony Czek” w kategorii Projekty i Programy (2005),
9. Zespołowa Nagroda JM Rektora Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Opolu za osiągnięcia organizacyjne (1994).

Ponadto zostałam wyróżniona uzyskaniem następujących stypendiów:

- Stypendium w ramach programu TEMPUS na pobyt w Ecole des Mines de Nancy, Francja (1994)
- Akademii Rozwoju Politechniki Opolskiej AKROPOL stypendium na rozwój naukowo - dydaktyczny oraz pobyt na University of Pavia (2009)
- Stypendium w ramach programu Leonardo da Vinci na pobyt w University of Central Lancashire, Preston, Wielka Brytania (2010)
- Stypendium Rządowego Programu TOP 500 Innovators na pobyt w Stanford University, USA (2012)

Jako ogromne wyróżnienie i zaszczyt traktuję zaproszenie mnie jako panelistę podczas 24. Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP24) odbywającej się w roku 2018 w Katowicach.

Gliwice dn. 1.03.2019


Iwona Kłosok-Bazan