

Wrocław, 15.03.2019 r.

Załącznik 2

Autoreferat w języku polskim

Dr inż. Małgorzata Kutylowska
Politechnika Wrocławska
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Wodociągów i Kanalizacji

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

W 2002 roku ukończyłam XIV Liceum Ogólnokształcące im. Polonii Belgijskiej we Wrocławiu i rozpoczęłam studia stacjonarne na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Studia te ukończyłam w 2007 roku (z wynikiem bardzo dobrym), uzyskując dyplom magistra inżyniera w specjalności Zaopatrzenie w Wodę i Unieszkodliwianie Ścieków i Odpadów (specjalizacja: Wodociągi i Kanalizacja). W 2007 roku rozpoczęłam studia doktoranckie pod opieką naukową prof. Małgorzaty Kabsch-Korbutowicz. Rozprawę doktorską pt. *Prognozowanie parametrów procesu separacji membranowej z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych* obroniłam w 2010 roku.

II. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

W roku 2009, jeszcze w trakcie trwania studiów doktoranckich, podjęłam na pół etatu pracę na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, który jest nieprzerwanie do dzisiaj podstawowym miejscem mojej pracy. Bezpośrednio po obronie rozprawy doktorskiej, w 2010 roku zostałam zatrudniona (na całym etacie) na stanowisku asystenta na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. W 2011 roku awansowałam na stanowisko adiunkta naukowo-dydaktycznego.

III. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Tytuł: *Metody regresyjne i klasyfikacyjne w analizie i ocenie poziomu awaryjności przewodów wodociągowych.*

Autor: Małgorzata Kutylowska

Wydawnictwo: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019.

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Andrzej Kotowski, prof. dr hab. inż. Ziemowit Suligowski.

Opis pracy:

Obecnie eksploatowane systemy zaopatrzenia w wodę są bardzo ważną, właściwie niezbędną, częścią infrastruktury komunalnej, bez której niemożliwe byłoby normalne funkcjonowanie rozwiniętych społeczeństw. Systemy te składają się z wielu elementów pełniących różne funkcje: źródła i ujęcia wody, pompownie i zakłady oczyszczania wody, zbiorniki wodociągowe oraz przewody: tranzytowe, magistralne, rozdzielcze i przyłącza wodociągowe. Na obecnym etapie rozwoju wiedzy, gdy znane są i wielokrotnie sprawdzone metody projektowania systemów wodociągowych oraz, gdy hydraulika, a mówiąc ogólnie mechanika płynów są dziedzinami poznanymi i powszechnie stosowanymi, wydaje się, że nacisk w odniesieniu do systemów dystrybucji wody, należy położyć na ich modernizację,

właściwą eksploatację oraz badania niezawodności działania, które pozwolą na przedłużenie okresu ich prawidłowego funkcjonowania.

Przedmiotem pracy było opracowanie modeli regresyjnych i klasyfikacyjnych z wykorzystaniem wybranych metod predykcyjnych (tzw. metod uczenia maszyn). Niniejsza monografia jest nowatorskim i niezwykle ważnym podejściem do zagadnienia oceny poziomu niezawodności wodociągowych systemów komunalnych w Polsce oraz rozszerzeniem i dopełnieniem wcześniejszych autorskich badań w tym zakresie, prowadzonych z uwzględnieniem danych z różnych systemów zaopatrzenia w wodę, a także ich podsumowaniem. Przedstawiony w tym opracowaniu zakres badań jest znacznie rozszerzony w stosunku do wcześniejszych autorskich analiz, a metodologia postępowania podczas modelowania została tak zmodyfikowana, aby ukazać więcej możliwości adaptacyjnych oraz walorów aplikacyjnych, wybranych trzech algorytmów do analiz oraz prognoz ilościowych i jakościowych.

Zadanie regresyjne polegało na przewidywaniu ilościowej zmiennej zależnej – stacjonarnego wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych (λ). Natomiast w zadaniu klasyfikacyjnym dokonano modelowania jakościowej zmiennej zależnej – klasyfikacji rodzajów uszkodzeń przewodów wodociągowych. Badania ilościowe i jakościowe oraz modelowanie zrealizowano w oparciu o dostępne dane eksploatacyjne, opisujące dwa systemy dystrybucji wody, uzyskane z przedsiębiorstw wodociągowych (w mieście X i Y). Do analiz i modelowania wybrano trzy algorytmy: metodę wektorów nośnych (SVM), metodę K-najbliższych sąsiadów (KNN) oraz drzewa regresyjne (RT) i klasyfikacyjne (CT). Każda z tych metod charakteryzuje się różnymi, istotnymi parametrami, które należało uwzględnić podczas budowy modeli, co powodowało uzyskanie dużej różnorodności w ich strukturach i w rezultatach modelowania. Jednym z ważniejszych, początkowych zadań, było stworzenie kilku konfiguracji zmiennych niezależnych, co miało na celu sprawdzenie, czy znaczne rozszerzenie wektora predyktorów – o kolejne dane (jak np. przykrycie rurociągu, ciśnienie czy pora roku), w stosunku do wcześniejszych badań autorskich, wpłynie na jakość modelowania i zbieżność przewidywanej zmiennej zależnej z wartościami rzeczywistymi wskaźnika intensywności uszkodzeń oraz na trafność klasyfikacji rodzajów uszkodzeń. Wyniki modelowania, uzyskane podczas przewidywania z wykorzystaniem danych z próby testowej, jako reprezentatywnej do oceny jakościowej i ilościowej, pozwalają na sformułowanie kilku głównych wniosków, podsumowujących przeprowadzone badania.

Główny cel pracy został osiągnięty, gdyż wykazano mniejszą lub większą przydatność metod SVM, KNN, RT i CT w analizie i ocenie poziomu awaryjności badanych przewodów wodociągowych. Ponadto wykazano, że komercyjny program Statistica jest jak najbardziej wystarczający do wykonania predykcji zmiennych zależnych w oparciu o dostępne dane eksploatacyjne. Fakt ten jest istotny z uwagi na możliwości aplikacyjne metod uczenia maszyn.

W celu racjonalnego zaplanowania napraw i modernizacji wybranych, najbardziej awaryjnych odcinków sieci wodociągowej oraz uzyskania pogłębionej wiedzy na temat poziomu niezawodności przewodów, przedsiębiorstwa wodociągowe mogą korzystać z zaproponowanej metodologii postępowania i modelowania wybranych zmiennych zależnych. Jednak jest to możliwe właściwie tylko w sytuacji dysponowania relatywnie

dużym i reprezentatywnym zbiorem danych rzeczywistych, gdyż jak wykazano (na przykładzie miasta Y), informacje jedynie z kilku (trzech) lat eksploatacji mogą być niewystarczające do wyciągnięcia racjonalnych konkluzji. Zatem, pośrednim wnioskiem płynącym z przeprowadzonych badań jest konieczność usystematyzowania danych gromadzonych w przedsiębiorstwach wodociągowych.

Uzyskane wyniki modelowania nie zawsze były satysfakcjonujące z uwagi na zbyt duże rozbieżności w stosunku do wartości rzeczywistych wskaźnika λ lub niewielki stopień trafności klasyfikacji rodzajów uszkodzeń przewodów wodociągowych. Jednak na każdym etapie pracy zwracano uwagę na powody takiej sytuacji i analizowano (dyskutowano) jej przyczyny wynikające np. ze struktury modelu lub specyfiki danych. Poniżej zostaną przedstawione główne wnioski płynące z analizy wyników modelowania oraz wskazane wady i zalety metodyki badań.

Na obecnym etapie rozwoju badań dotyczących wykorzystania metod uczenia maszyn w analizie niezawodnościowej, nie można w sposób arbitralny wykluczyć żadnego algorytmu predykcyjnego, gdyż jak pokazały przeprowadzone badania, wyniki mogą się znacznie różnić w zależności od dokładności i jakości danych eksploatacyjnych oraz od zastosowanego podziału tychże danych i budowy oddzielnych modeli dla różnych typów przewodów wodociągowych. Jednakże, uzyskane wyniki świadczą, że „najsłabszą” metodą predykcyjną okazał się algorytm KNN. Postuluje się, aby podczas wykonywania modelowania matematycznego mającego na celu określenie poziomu awaryjności i niezawodności działania systemów dystrybucji wody, w miarę możliwości stosować przynajmniej dwie (wybrane – wskazane w pracy) metody predykcyjne, co umożliwi dokonanie analizy porównawczej. Zastosowanie jednej metodologii mogłoby spowodować uzyskanie niemiarodajnych wyników modelowania, a wyciągnięte na ich podstawie wnioski, mogłyby być nieuzasadnione (co miałoby przełożenie na przykładowo nieracjonalne wydatkowanie środków finansowych przedsiębiorstwa wodociągowego).

Jednym z ważniejszych parametrów modeli w metodzie wektorów nośnych (SVM) jest wybór odpowiedniej liczby wektorów nośnych i związanych. Analiza wyników zadania regresyjnego dla obu miast wskazuje na kilkukrotnie większą liczbę tychże wektorów w przypadku liczniejszego zbioru danych uczących i bardziej rozbudowanego wektora predyktorów (miasto X). Jednak w tym przypadku nie jest to wadą, gdyż przełożyło się na uzyskanie mniejszego (o rząd wielkości) błędu sprawdzianu krzyżowego i nie spowodowało zwiększenia wartości pojemności, w stosunku do modeli opisujących wskaźnik awaryjności (w mieście Y). Jest to istotny wniosek wskazujący, że zwiększenie liczby danych włączonych do analizy oraz ich zakres nie przekłada się wprost na większą złożoność modelu. Jednym z ważniejszych podobieństw opracowanych modeli regresyjnych jest fakt, że do opisu wskaźnika λ (w mieście X i Y) wybrano głównie modele oparte o liniową lub wielomianową funkcję jądrową, co świadczy o tym, że zadanie predykcji rozpatrywanej zmiennej zależnej jest relatywnie proste. Jedynie w kilku przypadkach wybrano modele o radialnych funkcjach bazowych, co wcale nie skutkowało uzyskaniem większej zbieżności z wartościami rzeczywistymi.

W szczególności, przewidywanie wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów magistralnych w mieście X było na średnim poziomie zgodności z danymi eksperymentalnymi. Uzyskano współczynniki korelacji w granicach 0,32–0,88; a względne

błędy modelu wahały się od 11,8% do 12,2%. Zaobserwowano, że modele nie zawierające predyktora „rodzaj uszkodzenia”, charakteryzowały się większą zbieżnością z rzeczywistymi wartościami wskaźnika λ .

Jednak pomimo wskazywanej w literaturze przedmiotu zalecie metody SVM – odporności na dane odstające, nie zauważono tego w odniesieniu do przyłączy w 2009 roku w mieście X. Może to wynikać ze specyfiki danych rzeczywistych, które dla kilku lat przyjmowały wartości stałe, lecz także dla innych typów przewodów zaobserwowano, że wartości odstające nie są prawidłowo modelowane przez modele SVM. Mniej dokładne analizy wyników badań przedstawiono w odniesieniu do miasta Y, gdyż poddano obserwacji jedynie trzy lata eksploatacji. Pomimo uzyskania błędów względnych modeli nie przekraczających 30% i korelacji w granicach 0,76–0,99 nie można uznać wyników modelowania metodą SVM za całkowicie prawidłowe, właśnie z uwagi na małą reprezentatywność danych eksploatacyjnych. Wspomniany problem generowania wartości stałych zauważany jest również podczas modelowania wskaźnika λ przyłączy – w mieście Y.

Podsumowując, można stwierdzić, że metoda SVM może być zalecana w analizie poziomu awaryjności i niezawodności działania przewodów wodociągowych, jednak należy pamiętać o ograniczeniach związanych z danymi odstającymi lub wartościami stałymi. Ponadto, można zawęzić zakres kolejnych badań i ograniczyć się do modeli opartych o liniową lub wielomianową funkcję jądrową, gdyż rozbudowywanie analiz, np. o funkcję sigmoidalną, nie przekłada się na jakość modelowania, a jedynie komplikuje analizy. Zwłaszcza, że w zadaniu klasyfikacyjnym modele z liniową i wielomianową funkcją jądrową charakteryzowały się największą trafnością klasyfikacji, która wahała się w granicach 44%–72%. Relatywnie wysoka jakość klasyfikacji wynikała głównie z prawidłowego zaklasyfikowania uszkodzeń typu pęknięcie i korozja, lecz nie miała przełożenia na satysfakcjonujące wyniki w odniesieniu do innych, mniej dominujących rodzajów uszkodzeń. Zaletą klasyfikacji zmiennych jakościowych opisujących awaryjność przewodów wodociągowych jest relatywnie mała liczba parametrów modelu, które należy na wstępie określić i odpowiednio wybrać.

Z uwagi na dużą złożoność zadania regresyjnego w mieście X, w metodzie K-najbliższych sąsiadów (KNN), opracowane modele posiadały kilka razy większą liczbę K najbliższych sąsiadów, w porównaniu do zadania regresyjnego w mieście Y. Optymalne modele opisywane były głównie przez miarę odległości Czebyszewa. Ponadto zaobserwowano, że wyniki modelowania są identyczne przy zastosowaniu Euklidesowej miary odległości i jej kwadratu, a dodatkowo miary Manhattan, w przypadku miasta Y. Sensowne wydaje się zatem ograniczenie zakresu badań do zastosowania jedynie miary Czebyszewa i Euklidesowej, gdyż nie ma potrzeby komplikować procesu budowy i opracowywania modeli KNN z uwzględnieniem innych miar odległości.

Podobne obserwacje zostały poczynione podczas analizy zadania klasyfikacyjnego, w którym też dominowały modele KNN-CZ i KNN-E. Analiza wyników modelowania wskaźnika λ przewodów magistralnych w mieście X wskazuje, że metoda KNN jest mniej przydatna niż metoda SVM, gdyż uzyskano większe rozbieżności pomiędzy wartościami rzeczywistymi a przewidywanymi, pomimo akceptowalnych błędów względnych ok. 22% i korelacji ok. 0,42–0,90. W wielu przypadkach modele KNN zawyżały wartość wskaźnika awaryjności, a przy zastosowaniu niektórych konfiguracji uzyskano praktycznie stałe

wartości, również w odniesieniu do przyłączy domowych i przewodów rozdzielczych (w mieście Y – dla konfiguracji B i D), co wskazuje, że podział danych według typu przewodu i opracowanie oddzielnych modeli dla każdego typu rurociągu nie przekłada się na jakość wyników modelowania. Dla pozostałych konfiguracji modelowanie wskaźnika λ przyłączy było prawidłowe na poziomie korelacji ok. 0,91–0,98, z błędami modelu ok. 22% i właściwym oszacowaniem wartości awaryjności dla roku 2009 (inaczej niż w przypadku metody SVM). Wyniki przewidywania zmiennej zależnej w mieście Y ukazują trend zmian tej zmiennej przy zachowaniu relatywnie wysokiej korelacji, jednakże z uwagi na brak odporności opracowanych modeli na dane odstające (np. $\lambda = 0,66$ uszk./ $(\text{km}\cdot\text{a})$ dla przyłączy) nie zaleca się stosowania metody KNN w zadaniach regresyjnych, ze zbyt małym wektorem predyktorów i małą liczebnością grupy danych testowych. Również zadanie klasyfikacyjne nie wyróżnia się jakością wyników, gdyż uzyskana trafność klasyfikacji wahała się w granicach 37%–55%, przy czym jedynie uszkodzenia najbardziej licznie reprezentowane, były zaklasyfikowane prawidłowo. Na podstawie wyników niniejszej pracy oraz obserwacji poczynionych we wcześniejszych analizach można stwierdzić, że metoda KNN nie powinna być stosowana na szeroką skalę w ocenie stanu technicznego i poziomu niezawodności działania systemów dystrybucji wody.

W odróżnieniu, do dwóch algorytmów omówionych powyżej, metoda drzew regresyjnych i klasyfikacyjnych posiada ważną zaletę, a mianowicie na etapie budowy modelu drzewa jest tworzony tzw. ranking ważności zmiennych niezależnych, co w przypadku metod SVM i KNN nie jest możliwe. Analiza tego rankingu wykazała, że poszerzanie wektora predyktorów nie ma istotnego wpływu na jakość modelowania i wyniki predykcji. W przypadku modeli opracowanych do przewidywania wskaźnika awaryjności przewodów wodociągowych w mieście X wykazano, że najważniejszymi zmiennymi niezależnymi są materiał, typ i średnica przewodu. Podobne spostrzeżenia zostały poczynione w odniesieniu do miasta Y, w którym modele budowane były tylko w oparciu o główne predyktory opisujące rurociągi. Można zatem z dużą dozą pewności stwierdzić, że w zadaniu regresyjnym nie ma potrzeby rozbudowywania wektora zmiennych niezależnych, np. o przykrycie przewodu czy ciśnienie w nim panujące, gdyż nie przekłada się to na jakość predykcji, a dane te są niekiedy niepewne a czasem niemożliwe do uzyskania. Zwłaszcza, że w przypadku zadania klasyfikacyjnego również okazało się, że trzy predyktory (niekiedy nieco inne niż w zadaniu regresyjnym) są wystarczające. Nie uzyskano dużo większej trafności klasyfikacji przy zastosowaniu siedmiu predyktorów.

Najważniejszym parametrem modelu drzewa jest liczba węzłów końcowych i dzielonych oraz rodzaj zmiennej niezależnej, która uczestniczy w podziale na każdym etapie budowy modelu i w każdym liściu. Liczba przypadków i rozmiar wektora uczącego ma wpływ na złożoność drzewa. Dlatego też optymalne modele drzew regresyjnych były mocno rozbudowane w przypadku miasta X, w stosunku do miasta Y (liczba węzłów końcowych nawet dwukrotnie większa). Zaskakujący jest fakt, że optymalne drzewa klasyfikacyjne są dużo mniejszych rozmiarów niż regresyjne. Być może miało to wpływ na jakość klasyfikacji, która jest porównywalna z innymi metodami i wynosi od 37% do ok. 72%. W zadaniu regresyjnym dla miasta X w wybranych konfiguracjach wyniki modelowania wskaźnika awaryjności przewodów magistralnych są nieakceptowalne. Dopiero, gdy dokonano budowy modeli w podziale na typ przewodu uzyskano zbieżność na poziomie ok. 0,84–0,89 z jednak

dużymi błędami modelu, sięgającymi nawet 70%. Sytuacja się powtarza, gdyż inne analizowane metody, również w wielu przypadkach, nie sprawdzały się w ocenie wskaźnika λ przewodów magistralnych, co świadczy o konieczności udoskonalenia warsztatu badawczego właśnie podczas analiz predykcyjnych wskaźnika awaryjności magistral. Dużo lepszą zbieżność uzyskano dla rurociągów rozdzielczych i przyłączy w mieście X. Nie zaobserwowano znaczących różnic w wynikach predykcji w przypadku zastosowania różnych konfiguracji. Korelacja wynosiła 0,86–0,97 i 0,84–0,96, a błąd modelu 9,7%–11,8% i 11,4%–13,5%, odpowiednio dla przyłączy i przewodów rozdzielczych. W przypadku miasta Y, dla którego modele drzew regresyjnych były mniej skomplikowane uzyskano w odniesieniu do rurociągów rozdzielczych i przyłączy równie satysfakcjonujące wyniki, gdyż błąd modelu nie przekraczał odpowiednio 27% i 20%, a współczynniki korelacji wynosiły nawet 1,0 i 0,99. Jednak, jak już wspomniano, dane jedynie z trzech lat eksploatacji, mogą zaburzać jakość modelowania i wpływać statystycznie na wyniki. Ponadto zaobserwowano, zwłaszcza podczas analizy wyników dla miasta X, że występuje problem właściwej predykcji w sytuacji stałych lub odstających, rzeczywistych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń. Jednakże w porównaniu do metody KNN modele drzew regresyjnych i klasyfikacyjnych są lepsze w ocenie poziomu awaryjności przewodów wodociągowych. Prostota konstrukcji modeli drzew jest również ich zaletą i dlatego metoda RT i CT może być zalecana do (dalszych) analiz i ocen niezawodnościowych infrastruktury podziemnej.

Przeprowadzone badania wskazały, że konieczne jest usystematyzowanie i grupowanie danych eksploatacyjnych rejestrowanych w przedsiębiorstwach wodociągowych, co w konsekwencji powinno prowadzić do większych możliwości wykorzystania gromadzonych informacji na potrzeby opracowywania modeli niezawodnościowych.

IV. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Opublikowałam łącznie 44 prace: 29 artykułów (w tym 14 z IF), 11 rozdziałów w monografiach oraz 4 referaty konferencyjne indeksowane w Web of Science. Ponadto byłam współredaktorem 3 monografii i 2 wydawnictw konferencyjnych, a także współautorem 4 raportów z prac badawczych (SPR). W załączniku nr 4 pt. *Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki* podałam opis bibliograficzny najważniejszych moich prac – łącznie 53, w tym 29 prac wykonanych indywidualnie i 24 zespołowo.

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora (2007–2010) w dorobku zgromadziłam łącznie 6 prac opublikowanych (zespołowo), w tym: 4 artykuły (a w tym 3 z IF) i 2 rozdziały w monografiach.

Po uzyskaniu stopnia doktora (w latach 2011–2019) zgromadziłam w dorobku łącznie 47 prac (w tym 29 indywidualnych i 18 zespołowych). Spośród nich opublikowałam 38 prac, w tym:

- 11 artykułów w czasopismach naukowych z IF, w tym 8 samodzielnych,
- 14 artykułów w punktowanych czasopismach naukowych bez IF, w tym 10 samodzielnych,
- 9 rozdziałów w monografiach, w tym 7 samodzielnych,

- 4 referaty konferencyjne indeksowanych w bazie Web of Science, wszystkie samodzielne.

W tabeli 1 przedstawiłam strukturę i liczbowe zestawienie mojego dorobku z podziałem na okresy: przed uzyskaniem stopnia doktora i po uzyskaniu stopnia doktora.

Tabela 1. Zbiorcze liczbowe zestawienie dorobku

Rodzaj prac	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniu stopnia doktora			Łącznie		
	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma
Artykuły z IF	0	3	3	8	3	11	8	6	14
Artykuły bez IF	0	1	1	10	4	14	10	5	15
Referaty WoS	0	0	0	4	0	4	4	0	4
Rozdziały mon.	0	2	2	7	2	9	7	4	11
Redakcja prac	0	0	0	0	5	5	0	5	5
Raporty SPR	0	0	0	0	4	4	0	4	4
Suma	0	6	6	29	18	47	29	24	53

Całkowity dorobek punktowy, po odliczeniu udziału współautorów prac, wynosi łącznie 378,4 punkty, w tym 195,5 – za artykuły w czasopismach z IF. Na okres po uzyskaniu stopnia doktora przypada 352,3 punkty, w tym 177,5 – za artykuły w czasopismach z IF.

Sumaryczny IF wynosi 9,027, w tym 7,454 po uzyskaniu stopnia doktora.

Wskaźniki bibliometryczne (liczba prac, liczba cytowań, indeks Hirscha) mojego dorobku naukowego, w zależności od bazy, wynoszą:

- Web of Science: liczba prac: 20, liczba cytowań: 81, indeks Hirscha: 4.
- Scopus: liczba prac: 17, liczba cytowań: 79, indeks Hirscha: 5.
- Google Scholar: liczba prac: 20, liczba cytowań: 136, indeks Hirscha: 6.

Poniżej omówiłam moje zainteresowania i osiągnięcia naukowe (w porządku chronologicznym) z odwołaniami do podanego w załączniku nr 4 – wykazu dorobku naukowego.

Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (2007–2010)

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora moje zainteresowania naukowe obejmowały następujące 4 tematy badawcze:

1. Analiza możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych (SSN) w zagadnieniach procesów membranowych;
2. Modelowanie przepuszczalności membran zanurzonych;
3. Modelowanie parametrów jakościowych po procesach koagulacji i ultrafiltracji przy zastosowaniu SSN;
4. Zastosowanie szeregów czasowych do prognozowania strumienia permeatu.

Ad 1. Na początku studiów doktoranckich, podjęłam nowatorski wówczas temat wykorzystania sztucznej inteligencji, ściślej sztucznych sieci neuronowych (SSN), w zagadnieniach związanych z procesami membranowymi, obecnie coraz powszechniej stosowanymi w technologii uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. Wnikliwe studia literaturowe, zebrane i opisane w artykule naukowym (załącznik nr 4, pozycja E26), wskazały na obiecujące wyniki modelowania uzyskane przez wielu badaczy na całym świecie i zasadność podjęcia tej tematyki. Kolejnym etapem było rozpoczęcie badań własnych w zakresie modelowania. Na wstępie tych badań skupiono się na problemie prognozowania rozmiaru porów membran ultrafiltracyjnych z wykorzystaniem metody SSN. Badania te opublikowano w rozdziale w monografii oraz wygłoszono na konferencjach naukowych *Membrany i Procesy Membranowe w Ochronie Środowiska* (załącznik nr 4, pozycja E11) i *Nanostructured Materials and Membrane Modelling and Simulation* (załącznik nr 4, pozycja L6). Na podstawie wyników badań laboratoryjnych obliczono średni promień porów wybranych membran. W celu stworzenia odpowiedniej architektury sieci neuronowej konieczne było zaproponowanie ciągu danych uczących (strumień permeatu J , ciśnienie P i grubość membrany l_p). Na wyjściu sieci istniał jeden neuron opisujący prognozowany średni promień porów membran R_{pp} . Wyniki uzyskane z symulacji sieci neuronowej pokazują na wystarczającą zbieżność z danymi eksperymentalnymi, co stało się przyczynkiem do podjęcia kolejnych problemów naukowych w zakresie zastosowań sztucznej inteligencji w procesach membranowych.

Ad 2. W 2008 roku, podczas pobytu na stażu naukowym w Technische Universität Dresden, rozpoczęłam modelowanie przepuszczalności membran zanurzonych typu ZeeWeed 500c z wykorzystaniem SSN. Do prognozowania przepuszczalności membran stosowałam rzeczywiste dane eksperymentalne uzyskane dzięki uprzejmości zespołu badawczego z TU Dresden. Pierwsze wyniki modelowania opublikowano w artykule z IF (załącznik 4, A14). Prognozowanie przepuszczalności membrany zanurzonej podczas hybrydowego procesu uzdatniania wody powierzchniowej w układzie koagulacja/ultrafiltracja, przeprowadzono z zastosowaniem różnych struktur perceptronu wielowarstwowego z jedną warstwą ukrytą. Mętność roztworu zasilającego, pH, temperatura, a także ciśnienie transmembranowe były sygnałami wejściowymi. Za pomocą stworzonej sztucznej sieci neuronowej możliwe było bardzo dokładne przewidywanie zachowania się całego systemu. Modelowanie przepuszczalności membran prowadzono przez kolejne dwa lata, rozszerzając zakres badań, a w konsekwencji, ostateczne spostrzeżenia i wnioski zostały opisane w jednej z części rozprawy doktorskiej.

Ad 3. Na podstawie bazy danych eksperymentalnych uzyskanych od zespołu badawczego z TU Dresden prowadzono również symulacje zastosowania sztucznej inteligencji do przewidywania parametrów jakościowych (np. mętność) po zintegrowanym procesie koagulacja/ultrafiltracja. Dokonano porównania struktur sieci uzyskanych podczas uzdatniania wody w procesie ultrafiltracji oraz w układzie zintegrowanym koagulacja/ultrafiltracja. Wykazano, że dawkowanie koagulantu glinowego nie miało większego wpływu na architekturę sieci, np. na liczbę neuronów ukrytych. W serii pomiarowej bez dawkowania koagulantu uzyskano zbieżność podczas procesu weryfikacji modelu sieci na poziomie 0,99, zaś w drugiej serii

współczynnik korelacji wyniósł 0,82. Wynika to z różnej liczby epok uczenia, która ma niewątpliwie wpływ na jakość przewidywania. Stwierdzono, że zastosowanie bardziej skomplikowanych funkcji aktywacji wcale nie przekłada się na uzyskanie lepszych wyników symulacji. W związku z tym nie zaleca się stosowania jednej uniwersalnej struktury sieci do przewidywania mętności permeatu oraz współczynnika retencji mętności, lecz każdorazowo należy przeanalizować zmienność sygnałów wejściowych. Wyniki badań opublikowano w rozdziale w monografii oraz wygłoszono na konferencji *Membrany i Procesy Membranowe w Ochronie Środowiska i Membrane Science and Technology Conference of the Visegrad Countries PERMEA 2010* (załącznik nr 4, E10 i L4). Podczas analiz borykano się z problemem liczby danych stosowanych do budowy modeli (zmienne jakościowe były rejestrowane z relatywnie dużym krokiem czasowym), na co zwrócono uwagę w opracowaniu również dotyczącym prognozowania mętności wody po procesie uzdatniania (załącznik 4, A13). Stwierdzono, że rozrzut między wartościami zmierzonymi a prognozowanymi może wynikać ze zbyt małej liczby danych uczących. Z tego względu sugeruje się jednak wykorzystywanie większej bazy pomiarowej podczas tworzenia optymalnego modelu sztucznej sieci neuronowej. Modelowanie, za pomocą algorytmu SSN, jakości wody po procesach membranowych zostało również szerzej opisane w kolejnej części rozprawy doktorskiej.

Ad 4. Równoległe do opisanych powyżej badań prowadziłam analizy możliwości prognozowania, za pomocą szeregów czasowych sztucznych sieci neuronowych, strumienia permeatu podczas procesu ultrafiltracji ścieków detergentowych. Sygnałami wejściowymi były: strumień recyrkulowany, ciśnienie strumienia zasilającego, ciśnienie koncentratu, temperatura ścieków detergentowych. Poza przypadkami wartości zerowych strumienia permeatu zbieżność między danymi eksperymentalnymi a przewidywanymi była satysfakcjonująca, na poziomie około 91%–94%. Wyniki badań opublikowałam w artykule z IF (A12), a poszerzoną wersję tej pracy zamieściłam w rozprawie doktorskiej.

Okres po uzyskaniu stopnia doktora (2011–2019)

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałam rozpoczęty już wcześniej temat badawczy nr 3 (*Modelowanie parametrów jakościowych po procesach koagulacji i ultrafiltracji przy zastosowaniu SSN*), a wyniki badań z tego zakresu opublikowałam w artykule z IF, z bazy JCR (A11). Podsumowanie dotychczasowego stanu wiedzy związanej z zastosowaniem SSN w szeroko pojętej inżynierii środowiska, zawarłam we współautorskiej publikacji – z promotorką mojej pracy doktorskiej, prof. Małgorzatą Kabsch-Korbutowicz (E25).

Po obronie rozprawy doktorskiej, w 2010 r. zostałam zatrudniona na macierzystym Wydziale, w zespole dydaktycznym Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków – w Zakładzie Naukowym Zaopatrzenia w Wodę, i w związku z tym znacznie poszerzyłam kierunki moich zainteresowań naukowych z – pierwotnie typowo technologicznych, na obecnie zagadnienia typowo sieciowe, związane z systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi. Podjęłam się rozwiązywania 5 nowych problemów badawczych (5–9), w szczególności takich jak:

1. niezawodność działania, stan techniczny i eksploatacja sieci kanalizacyjnych;
2. Benchmarking w sektorze wodociągów i kanalizacji;
3. niezawodność działania, stan techniczny i eksploatacja sieci wodociągowych;
4. Modelowanie poziomu awaryjności sieci wodociągowych metodą SSN;
5. Modelowanie poziomu awaryjności sieci wodociągowych metodami regresyjnymi i klasyfikacyjnymi.

Nowe tematy badawcze, podjęte po uzyskaniu stopnia doktora, były pierwotnie realizowane w Zakładzie Naukowym Zaopatrzenia w Wodę (kierowanym przez dr hab. Halinę Hotłoś), a po reorganizacji na Wydziale w 2014 r. – w Katedrze Wodociągów i Kanalizacji (kierowanej przez prof. Andrzeja Kotowskiego).

Warto zaznaczyć, że moje opublikowane prace są w zdecydowanej większości jednoautorskie, a we współautorskich mam dominujący udział (od 40% do 70%). Poza publikowaniem wyników moich badań w czasopiśmie, czy prezentowaniem ich na krajowych i międzynarodowych konferencjach, zostały one również wykorzystane do autorskich wykładów dla studentów i doktorantów macierzystego Wydziału (załącznik 4, p. III I), a także na innych uczelniach. Wykłady te były m.in. częścią staży naukowych i dydaktycznych (załącznik 4, p. III L), które odbyłam w celu podnoszenia kwalifikacji naukowych. Ponadto, uzyskałam stypendium naukowo-badawcze *Program Operacyjny Kapitał Ludzki – wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni. Rozwój potencjału dydaktyczno-naukowego młodej kadry akademickiej Politechniki Wrocławskiej* – na realizację części tematów badawczych, po uzyskaniu stopnia doktora (załącznik 4, p. III A).

Ad 5. Na początku zainteresowałam się zagadnieniem niezawodności działania sieci kanalizacyjnych i dokonałam autorskiego przeglądu stanu wiedzy w tym zakresie (załącznik 4, E9), który skutkowało wyciągnięciem następujących wniosków (m. in. zreferowanych podczas konferencji *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska*): właściwy wybór metod klasyfikacji uszkodzeń powinien pozwolić na jednoznaczny opis stanu technicznego systemów usuwania ścieków; ocena niezawodności działania kanalizacji powinna być przeprowadzona kompleksowo, z wykorzystaniem nie tylko typowych metod statystycznych, ale także matematycznych obliczeń wykorzystujących zaawansowane metody wyznaczania prawdopodobieństwa zaistnienia danego stanu niesprawności systemu.

Kolejne analizy dotychczasowych badań odnośnie stanu technicznego i eksploatacji systemów usuwania ścieków w Polsce (E7) miały na celu znalezienie brakujących ogniw w prowadzonych rozważaniach, co zostało omówione w referacie wygłoszonym na konferencji *Nowe Technologie w Sieciach i Instalacjach Wodociągowych i Kanalizacyjnych*. W pracy przedstawiono i omówiono, na podstawie dostępnej literatury krajowej, obecny stan wiedzy na temat głównych przyczyn, skutków oraz liczby i rodzaju uszkodzeń miejskich sieci kanalizacyjnych, w tym także na terenach eksploatacji górniczej. W większości, badania prowadzone były z zastosowaniem techniki video. W pracy E7 podano metodykę obliczeń wartości wskaźników uszkodzeń punktowych i liniowych kanałów. Na ich podstawie dokonano oceny stanu kanałów ogólnospławnych,

ściekowych i deszczowych wykonanych z betonu, kamionki, PVC i cegły o zróżnicowanych przekrojach i wieku. Wykazano, iż stan analizowanych sieci kanalizacyjnych jest niezadowolający. Dotyczy to nie tylko kanałów eksploatowanych, często ponad 100 lat, ale również nowo wybudowanych i badanych przed odbiorem. Wskazano na konieczność prowadzenia systematycznych badań, co umożliwi zapobieganie powstawaniu poważnych awarii, a także na uzyskanie informacji niezbędnych do opracowania strategii eksploatacji i modernizacji sieci kanalizacyjnych. Ponadto w artykule opublikowanym w branżowym czasopiśmie (*Gaz, Woda i Technika Sanitarna* – załącznik 4, E22) dokonano porównania poziomu awaryjności sieci kanalizacyjnych z danymi z tzw. *benchmarkingu*. Wnioski z prowadzonych badań powinny być uwzględniane w czasie eksploatacji i modernizacji istniejących systemów kanalizacyjnych oraz przy projektowaniu nowych. Z zaprezentowanych w pracy danych literaturowych wynika m. in., że stan i zakres badań awaryjności grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych w Polsce jest bardzo ubogi i pod wieloma względami niewystarczający. Powodem są braki, odpowiedniej jakości, danych z eksploatacji oraz jednolitej metodyki klasyfikacji oraz oceny rodzaju i skutków występujących nieprawidłowości związanych z funkcjonowaniem systemów kanalizacyjnych i ich elementów. Tematyka *benchmarkingu* będzie jeszcze obecna w moich badaniach naukowych, jednak już w odniesieniu do systemów dystrybucji wody (co zostanie omówione w kolejnych punktach).

Po dokładnym rozeznaniu stanu wiedzy, rozpoczęłam badania własne dotyczące stanu technicznego sieci kanalizacyjnych. Pierwszym analizowanym systemem była sieć kanalizacyjna w Głogowie. Informacje na temat sposobu funkcjonowania systemu usuwania ścieków w tym mieście zebrano w opracowaniu (E8) oraz przedstawiono na kolejnej konferencji z cyklu *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska*. Dalszym etapem badań miało być modelowanie wskaźników niezawodnościowych w odniesieniu do sieci kanalizacyjnych, jednak z uwagi na brak wystarczającej bazy danych eksploatacyjnych nie dokończyłam tych rozważań. Kontynuacja tego tematu badawczego znalazła się w opublikowanym artykule z IF (załącznik 4, A10). W pracy tej przedstawiono historię i charakterystykę systemu kanalizacyjnego we Wrocławiu, który jest systemem grawitacyjnym z elementami ciśnieniowymi (pompownie, kanały tłoczne). Wyliczono, że w miesiącu występowało średnio 7,3÷8,3 uszkodzeń kanałów, zaś intensywność uszkodzeń wyniosła średnio w roku 0,07 awarii na kilometr długości kanałów ściekowych i ogólnospławnych (bez deszczowych).

Tematyka stanu technicznego i niezawodności działania systemów kanalizacyjnych jest nieodłącznie związana z inspekcją kanałów metodą video. Wyniki analiz inspekcji TV sieci kanalizacyjnej we Wrocławiu zostały omówione w dwóch artykułach w czasopiśmie branżowym (*Instal*) – załącznik 4, E20 i E21 oraz w rozdziale książki konferencyjnej (E4), a także przedstawione na międzynarodowej konferencji *IWA International Conference for Young Water Professionals* (L3). Wnioski płynące z przeprowadzonych analiz można przedstawić w kilku – głównych punktach. Po pierwsze, istnieje konieczność utrzymania wszystkich systemów kanalizacyjnych w dobrym stanie technicznym. Zwłaszcza kanalizacja deszczowa należy w ostatnich latach do tzw. infrastruktury krytycznej. Po drugie z uwagi na coraz częściej występujące

nagłe zjawiska opadowe powodujące niekiedy ogromne szkody również na powierzchni ziemi, należy w sposób szczególny dbać o stan techniczny systemów odprowadzania ścieków deszczowych. Przedstawione w pracy (E4) przykładowe nieprawidłowości oraz uszkodzenia są typowe i występują zarówno w systemie ogólnospławnym, jak i kanałach ściekowych. Zaprezentowano jedynie wybrane typy niesprawności w celu zobrazowania skali problemu, z jakim na co dzień muszą borykać się eksploatatorzy sieci kanalizacyjnych.

Ad 6. Tematyka *benchmarkingu* w sektorze wodociągów i kanalizacji jest swoistym dopełnieniem badań związanych z eksploatacją, projektowaniem, modernizowaniem i niezawodnością działania systemów komunalnych, gdyż pozwala na dokonanie porównania istotnych wskaźników benchmarkingowych, zaproponowanych przez IWA, dla różnych jednostek osadniczych, a nawet regionów lub krajów. Porównanie sytuacji w Polsce w stosunku do wybranych regionów Europy zostało przedstawione w pracy (E24). W dalszej kolejności dokonano analizy porównawczej dla dwóch wybranych systemów dystrybucji wody, co zostało omówione w artykule w czasopiśmie branżowym (E23), w rozdziale książki konferencyjnej (E5), a także zaprezentowane na konferencji *Aktualne Zagadnienia w Uzdatnianiu i Dystrybucji Wody*.

Ad 7. Równoległe do tematyki *benchmarkingu* zaczęłam zajmować się wyznaczaniem poziomu niezawodności działania i awaryjności sieci wodociągowych na podstawie dostępnych danych eksploatacyjnych. Główne osiągnięcia w tej dziedzinie zostały opublikowane w czasopiśmie z IF (A9). Przedstawione w pracy wyniki badań eksploatacyjnych sieci wodociągowych w Głogowie i innych miastach w Polsce wykazały, że spośród wielu czynników decydujący wpływ na awaryjność przewodów ma materiał i średnica rur, okres i warunki ich budowy, pora roku, a także wysokość i wahania ciśnienia wody. Sieci wodociągowe w Polsce charakteryzują się na ogół dużo większą awaryjnością niż sieci w innych krajach. Wynika to z różnych przyczyn, a głównie z niedoinwestowania wymiany przewodów oraz kilkudziesięcioletnich zaniedbań eksploatacyjnych w zakresie systematycznej konserwacji i modernizacji sieci. Prowadzona obecnie modernizacja sieci wodociągowych, polegająca na renowacji lub wymianie zdekapitalizowanych przewodów żeliwnych i stalowych wpływa na: zmniejszenie awaryjności sieci i możliwości wtórnego zanieczyszczenia wody w czasie awarii; poprawę jakości wody dostarczanej do odbiorców i zmniejszenie strat wysokości ciśnienia w sieci dzięki wyeliminowaniu ujemnego wpływu inkrustacji i odłożonych osadów na wewnętrznych ściankach rur; zmniejszenie wielkości strat wody wskutek wycieku z nieszczelnych i uszkodzonych przewodów; zmniejszenie kosztów eksploatacji sieci wodociągowych; zwiększenie niezawodności i bezpieczeństwa działania systemów zaopatrzenia w wodę.

Kolejne badania dotyczące określania wskaźnika intensywności uszkodzeń, na podstawie dostępnych danych eksploatacyjnych, zostały przeprowadzone w odniesieniu do innych systemów dystrybucji wody. Wyniki przeprowadzonych analiz zostały opublikowane w dwóch opracowaniach (E16 i E17). Główne założenia i wyniki (E17) można podsumować w następujących kilku zdaniach. Wskaźnik intensywności uszkodzeń przewodów rozdzielczych i przyłączy w latach 2008–2014 został wyznaczony w oparciu o dane eksploatacyjne udostępnione przez jedno z przedsiębiorstw

wodociągowych. Awaryjność rurociągów została wyznaczona jedynie w jednej z wydzielonych stref analizowanego systemu dystrybucji wody. Średnio w analizowanym okresie wskaźnik awaryjności wyniósł 0,18 uszk./(km·a) dla przewodów rozdzielczych oraz 0,44 uszk./(km·a) dla przyłączy. Natomiast w artykule (E16) dokonano analizy porównawczej poziomu awaryjności sieci wodociągowej jednego dużego miasta w Polsce oraz dwóch średniej wielkości. Głównym wnioskiem płynącym z tych badań jest konieczność systematycznej wymiany starych przyłączy na rurociągi nowe, wykonane z tworzyw sztucznych.

Analizy eksploatacji oraz niezawodności działania systemów dystrybucji wody stały się również podstawą do opracowania zespołowych raportów (J3 i J4), w których zebrano wyniki badań prowadzonych w ramach działalności statutowej Wydziału.

W kolejnym kroku rozwoju naukowego zajęłam się tematyką modelowania w odniesieniu do sieci wodociągowych. Wstępne próby zmierzenia się z tą problematyką zostały opisane w artykule z IF (A8), w którym podjęłam się modyfikacji istniejącego modelu opisującego wskaźnik intensywności uszkodzeń. Uzyskane wyniki okazały się obiecujące, jednak w odniesieniu do konkretnych systemów dystrybucji wody. Modelowanie innych sieci wodociągowych wymagałoby kolejnych modyfikacji modelu, o parametry opisujące aktualnie analizowane przewody.

Ad 8. Jednym z głównych tematów badawczych okazała się problematyka modelowania wskaźnika intensywności uszkodzeń i wskaźnika gotowości przewodów wodociągowych metodą sztucznych sieci neuronowych. Temat ten został dokładnie omówiony w cyklu jednoautorskich publikacji w czasopismach z IF (A4–A7), w rozdziałach w monografii (E3 i E6), w czasopiśmie branżowym (E15) i w referacie konferencyjnym indeksowanym w Web of Science (E29). Ponadto tematyka zastosowania SSN w analizie poziomu awaryjności przewodów wodociągowych stała się podstawą uzyskania dofinansowania w projekcie badawczym na rozwój młodej kadry (J5). Opublikowane wyniki przeprowadzonych badań wskazują na walory aplikacyjne sieci neuronowych w analizie i ocenie poziomu niezawodności działania systemów dystrybucji wody. We wspomnianych opracowaniach przeanalizowano różne struktury sieci neuronowych oraz różne kombinacje sygnałów wejściowych w celu sprawdzenia przydatności tego typu modelowania, nawet w sytuacji dysponowania niewielką bazą danych eksploatacyjnych. Wyniki modelowania zostały opisane w raportach z badań statutowych (J1 i J2). Wnioski płynące z analiz zastosowania sztucznej inteligencji okazały się obiecujące i dlatego też postanowiłam poszerzyć zakres badań o inne metody predykcyjne, o czym jest mowa poniżej.

Ad 9. W ostatnim czasie przedmiotem moich zainteresowań naukowych stało się zastosowanie (w analizie poziomu awaryjności) metod uczenia maszyn, tj.: metody wektorów nośnych – SVM, metody K-najbliższych sąsiadów – KNN, metody drzew regresyjnych (RT) i drzew klasyfikacyjnych (CT). Dodatkowo sprawdziłam możliwości wykorzystania metody MARSplines w zagadnieniach modelowania wskaźnika awaryjności przewodów wodociągowych. Tematyka aplikacji metod predykcyjnych w odniesieniu do modelowania wskaźnika awaryjności przewodów wodociągowych została licznie opisana w cyklach jednoautorskich publikacji: w artykułach z IF (A1–A3), w rozdziałach monografii konferencyjnych (E1 i E2), w czasopismach nie znajdujących

się w bazie JCR (E12–E14, E18 i E19) oraz w referatach konferencyjnych indeksowanych w Web of Science (E27, E28 i E30), a także zaprezentowana na dwóch konferencjach międzynarodowych (L1 i L2) – *IWA Eastern European Young Water Professionals Conference*. W niektórych opracowaniach dokonano analizy porównawczej metody SVM i SSN (E18 i E19). W większości opublikowanych prac wskazywano na wady i zalety metod predykcyjnych oraz walory aplikacyjne. Modelowanie i przewidywanie wskaźnika intensywności uszkodzeń oraz rodzajów uszkodzeń przewodów wodociągowych wydaje się, na obecnym etapie badań dotyczących niezawodności działania systemów komunalnych, zagadnieniem nowatorskim i niezwykle istotnym z uwagi na konieczność podejmowania szybkich decyzji w sytuacjach wystąpienia poważniejszych awarii. Należy pamiętać, że każde modelowanie obarczone jest błędem prognozy. Wybór modelu optymalnego powinien być związany nie tylko z uzyskaniem jak najlepszej zbieżności, ale także z oceną wpływu błędnego oszacowania. Skala i skutki awarii np. przewodów rozdzielczych są nieporównanie większe niż uszkodzenia przyłączy domowych. W większości wspomnianych wyżej opracowań, dotyczących metod predykcyjnych, wskazywano na konieczność prowadzenia dalszych badań w tym zakresie. W związku z tym postanowiłam poszerzyć metodologię modelowania (np. o bardziej szczegółowe zmienne niezależne) oraz możliwości stosowania metod regresyjnych i klasyfikacyjnych w różnych systemach dystrybucji wody, co zaowocowało przeprowadzeniem szerszych rozważań i opisaniem wyników moich najnowszych badań w monografii habilitacyjnej.

Poza zadaniami typowo naukowymi (i dydaktycznymi), moja aktywność zawodowa dotyczyła również innych zakresów działalności.

W latach 2015–2016 byłam współredaktorem naukowym książek – monografii z serii *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska* (F4 i F5), po czym w latach 2017–2018 indeksowanych w Web of Science materiałów konferencyjnych z serii *Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering* (F1, F2).

W roku 2017 byłam współredaktorem indeksowanych w Web of Science materiałów konferencyjnych z serii *Advances in Energy Systems and Environmental Engineering* (F3).

W latach 2017–2019 byłam członkiem komitetu naukowego konferencji krajowych i międzynarodowych (załącznik 4, p. III N). Od 2012 roku zajmowałam się także recenzowaniem artykułów do kilkunastu czasopism, w większości znajdujących się w bazie JCR (załącznik 4, p. III P).



.....
podpis Wnioskodawcy