

dr hab. inż. Klaudiusz Grübel, prof. UBB
Uniwersytet Bielsko-Bialski
Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska
ul. Willowa 2
43-309 Bielsko-Biała
email: kgrubel@ubb.edu.pl

Bielsko-Biała, 07.03.2024 r.

RECENZJA

osiągnięcia naukowego dr inż. Malwiny Tytła
przedstawionego w postaci jednotematycznego cyklu publikacji pod wspólnym tytułem
„Metale ciężkie oraz ich formy chemiczne w komunalnych osadach ściekowych a ryzyko ekologiczne”
będącego podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja została przygotowana na podstawie uchwały nr 2/2024, z dnia 18.01.2024 r. Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach. O decyzji powołującej moją osobę na recenzenta i członka komisji habilitacyjnej Pani dr inż. Malwiny Tytła, zostałem poinformowany pisemnie listem z dnia 13.02.2024 r. przesłanym przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka - prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina. Podstawą opracowania recenzji był przesłany na mój adres służbowy, wydrukowany egzemplarz osiągnięcia naukowego.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest osiągnięcie naukowe pod wspólnym tytułem „Metale ciężkie oraz ich formy chemiczne w komunalnych osadach ściekowych a ryzyko ekologiczne”.

Dr inż. Malwina Tytła aplikuje o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie zbioru ośmiu publikacji, których tematyka wpisuje się w zakres reprezentowany przez wspólny tytuł osiągnięcia naukowego.

3. Sylwetka naukowa dr inż. Malwiny Tytła

Pani dr inż. Malwina Tytła uzyskała tytuł magistra inżyniera w 2010 r. na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Promotorem pracy magisterskiej pt. „Biologiczne metody oczyszczania odcieków ze składowisk komunalnych”, była prof. dr hab. inż. Jolanta Bohdziewicz.

Kolejnym etapem w rozwoju naukowym habilitantki było uzyskanie w 2015 roku stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, na podstawie dysertacji „Wpływ okresowych zmian właściwości osadów nadmiernych na efekty ich dezintegracji w polu ultradźwiękowym”. Promotorem pracy była Pani dr hab. inż. Ewa Zielewicz, prof. nzw. w Pol. Śl.

Pani dr inż. Malwina Tytła od roku 2014 jest pracownikiem Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzcu. Pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Gospodarki Wodnej i Ochrony Wód.

W okresie rozwoju kariery naukowej Pani dr inż. Malwina Tytła odbyła kilka staży naukowych, które zrealizowała w trzech ośrodkach naukowo-dydaktycznych. Biorąc pod uwagę poszczególne etapy rozwoju kariery naukowej habilitantki, można wyraźnie dostrzec jej zainteresowania badawcze, skierowane głównie

na zagadnienia związane z procesami przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych. Całokształt prowadzonych prac stanowi podstawę do ubiegania się przez Panią dr inż. Malwinę Tytła o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

4. Charakterystyka osiągnięcia naukowego

Przedstawione osiągnięcie naukowe, zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.), zostało złożone do oceny w formie jednotematycznego cyklu ośmiu prac opublikowanych w czasopiśmie, które w większości znajdują się na liście JCR (Journal Citation Reports) pod wspólnym tytułem: „Metale ciężkie oraz ich formy chemiczne w komunalnych osadach ściekowych a ryzyko ekologiczne”, opublikowanych w latach 2016-2023.

Na zbiór ten składają się artykuły o zasięgu międzynarodowym z IF od 0,0 do 4,9.

Pani dr inż. Malwina Tytła jest pierwszym autorem we wszystkich ośmiu pracach, co wskazuje na wiodącą rolę w ich opublikowaniu. Pani doktor inżynier podała w oświadczeniach, że Jej udział w podstawowych ośmiu publikacjach stanowi średnio 81,25% (publikacja 1 – 70%, publikacja 2 – 80%, publikacja 3 – 100%, publikacja 4 – 100%, publikacja 5 – 70%, publikacja 6 – 60%, publikacja 7 – 70%, publikacja 8 – 100%). Dodatkowym potwierdzeniem Jej udziału są oświadczenia współautorów zamieszczone w dokumentacji przedstawionej do recenzji. Wkład Pani dr inż. Malwiny Tytła polegał na sformułowaniu problemów badawczych, prowadzeniu badań eksperymentalnych, analizie i opracowywaniu uzyskanych wyników, zbieraniu piśmiennictwa i pisaniu artykułów. W pięciu publikacjach, poza habilitantką, występują jeszcze inni współautorzy.

4.1. Ocena zasadności podjętej problematyki badawczej

Jako osiągnięcie naukowe Pani dr inż. Malwina Tytła przedstawiła cykl publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem „Metale ciężkie oraz ich formy chemiczne w komunalnych osadach ściekowych a ryzyko ekologiczne”, które wg. mojej opinii mają istotny wkład habilitantki w rozwój dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, biorąc pod uwagę ich przedmiot badań i zasięg aplikacyjny.

Osady ściekowe są nieodłącznym elementem procesu oczyszczania ścieków, a ich skład i jakość zależy przede wszystkim od jakości dopływających do oczyszczalni ścieków. Powstające osady w ciągu technologicznym oczyszczalni ścieków, charakteryzują się zmiennym składem pierwiastkowym oraz udziałem części mineralnych i organicznych. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2020, poz. 10), ustabilizowane komunalne osady ściekowe stanowią odpad (kod odpadu: 19 08 05), który należy unieszkodliwić. Z drugiej strony, w związku z zawartością w osadach ściekowych materii organicznej, pierwiastków biogennych, związków humusowych itp., są one cennym surowcem mogącym być wykorzystanym w rolnictwie i/lub rekultywacji terenów. Możliwość takiego wykorzystania jest silnie limitowana przez obecność w osadach patogenów, zanieczyszczeń organicznych oraz substancji toksycznych, wśród których znaczącą rolę odgrywają metale ciężkie.

Wartości dopuszczalne stężeń metali ciężkich w przypadku stosowania ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie i/lub rekultywacji, są regulowane na mocy Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, poz. 257). Jak słusznie zauważyła habilitantka w swoim autoreferacie, w dniu 14 stycznia 2022 r. zostało opublikowane Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z 31 grudnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2022, poz. 89), jednakże wejdzie ono w życie dopiero 15 stycznia 2026 r.

Habilitantka podjęła się analizy występowania – ilościowo i jakościowo – metali ciężkich w osadach powstających w oczyszczalniach ścieków. Podjęty temat badawczy jest niezmiernie ważny ze względu na fakt, iż metale ciężkie obecne w osadach ściekowych mogą stanowić zagrożenie zarówno w wymiarze

ekologicznym, jak i zdrowotnym. Ponadto, jak wiadomo, procesy stosowane w oczyszczalniach ścieków nie gwarantują całkowitego usuwania metali ciężkich, co stanowi bezpośrednią przyczynę kumulowania się tych zanieczyszczeń w osadach ściekowych w różnej formie (rozpuszczonej, wytrąconej, współstrąconej z tlenkami metali, zaadsorbowanej, bądź zasocjowanej na cząstkach resztek biologicznych). Dodatkowo należy mieć na uwadze, iż osady ściekowe ze względu na swoje własności doskonale wpisują się w gospodarkę o obiegu zamkniętym i powinny, w jak największej skali, być tak postrzegane i wykorzystywane.

Z przedstawionego do oceny osiągnięcia naukowego wynika, że prowadzenie analizy obecności metali ciężkich w osadach ściekowych, w ciągu oczyszczania ścieków, w różnej formie chemicznej oraz analiza ryzyka ekologicznego są niezmiernie ważne i powinny zostać wprowadzone, jako badania standardowe w oczyszczalniach ścieków. Prace badawcze wykazane w osiągnięciu naukowym będącym podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego oraz ich aplikacyjność, doskonale wpisują się w polepszanie i udoskonalanie procesów technologicznych ciągu osadowego oczyszczalni ścieków.

Najważniejsze wnioski płynące z przedstawionego cyklu publikacji zostały podsumowane w autoreferacie, w którym autorka, co jakiś czas podkreśla, co jest jej istotnym wkładem i nowatorskim podejściem w przeprowadzonych badaniach. Przedstawiony cykl publikacji do postępowania habilitacyjnego stanowi zasadniczo spójny materiał (poza publikacją 4.2.2., pozycja w autoreferacie A2), którego kluczem są formy występowania w ciągu osadowym oczyszczalni ścieków metali ciężkich w różnych formach oraz analiza ryzyka ekologicznego.

4.2. Omówienie i opinia osiągnięcia naukowego

Cel osiągnięcia naukowego został sprecyzowany w autoreferacie i obejmuje scharakteryzowanie obecności (występowania) metali ciężkich w osadach ściekowych, powstających w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Habilitantka w swoich badaniach rozpatrywała metale ciężkie wymienione w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, poz. 257), tj. kadm (Cd), chrom (Cr), miedź (Cu), nikiel (Ni), ołów (Pb), cynk (Zn) oraz rtęć (Hg). Nadrzędnym celem habilitantki było przeprowadzenie analizy ogólnej stężeń metali ciężkich oraz form chemicznych występowania metali ciężkich w osadach powstających, w całym ciągu oczyszczalni ścieków, jak również przeprowadzenie kompleksowej analizy ryzyka ekologicznego stwarzanego przez te pierwiastki. Takie podejście pozwoliło Pani dr inż. Malwinie Tytła na wskazanie czynników mających istotny wpływ na ogólną zawartość oraz sposób wiązania metali (ich mobilność) w osadach ściekowych, jak również na końcową charakterystykę tych osadów. Poruszona powyżej kwestia ma kluczowe znaczenie dla właściwej oceny wielkości ryzyka, jakie pierwiastki te mogą stwarzać dla środowiska, szczególnie w przypadku stosowania ustabilizowanych osadów ściekowych (po odwadnianiu i/lub higienizacji) w rolnictwie i/lub rekultywacji terenów.

4.2.1. Tytła M., Widziewicz K., Zielewicz E. Heavy metals and its chemical speciation in sewage sludge at different stages of processing. *Environmental Technology*, 2016, 37(7), 899-908. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1090482> [25 pkt MNiSW, IF=1,751]

W artykule poruszono problematykę analizy stężeń i form metali ciężkich w osadach ściekowych, co stanowi problem zarówno pod względem zagrożeń dla zdrowia, jak i dla środowiska. Autorzy skupili się nad określeniem ich mobilności w środowisku oraz formami chemicznymi obecnymi w osadach ściekowych. Wykorzystując ekstrakcję sekwencyjną zbadano stężenia metali ciężkich (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr i Hg) i ich formy chemiczne w osadach z ciągu technologicznego oczyszczalni ścieków. Autorzy wywnioskowali, że cynk i miedź występowały w najwyższych stężeniach, natomiast kadm i rtęć w najniższych. Najwyższe stężenia obserwowano w osadach po stabilizacji, odwodnieniu i higienizacji, natomiast osady wstępne charakteryzowały się najmniejszą zawartością metali, co przypisano właściwościom fizykochemicznym osadu, a dokładniej zawartości suchej masy.

Dodatkowo autorzy stwierdzili, że nieruchome frakcje metali ciężkich przeważały nad mobilnymi, co jest pozytywne z punktu widzenia migracji tych pierwiastków z osadów do środowiska, jak również

w odniesieniu do bioakumulacji w organizmach żywych. Uzyskane wyniki udowodniły, że zagęszczanie, stabilizacja i higienizacja mają ogromny wpływ na dystrybucję metali ciężkich w osadach poprzez zmniejszenie ich mobilności (zwiększenie zawartość suchej masy podczas kolejnych procesów technologicznych). Stężenia metali ciężkich w osadach nie przekraczały dopuszczalnych norm, co wskazuje na ich możliwe wykorzystanie w rolnictwie. Ponadto, autorzy stwierdzili, że stężenia i specjacja metali ciężkich w osadach ściekowych muszą być monitorowane i kontrolowane regularnie w celu identyfikacji potencjalnych zagrożeń spowodowanych nadmierną obecnością frakcji mobilnej metali ciężkich. Skonkludowali ponadto, że wymaga to wprowadzenia nowych regulacji prawnych w tym zakresie.

4.2.2. Tytła M., Zielewicz E. The impact of temporal variability of excess sludge characteristics on the effects obtained in the process of its ultrasonic disintegration. Environmental Technology, 2018, 39(23), 3020-3032. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1371251> [25 pkt. MNiSW, IF=1,918]

Celem publikacji było wskazanie cech osadu nadmiernego, który został poddany procesowi dezintegracji ultradźwiękowej. Analiza wyników wykazała, że zmiany czasowe w charakterystyce osadu (opisana powszechnie znane i nowe wskaźniki) znacząco wpływają na skutki sonifikacji osadu. W badaniach, oprócz dobrze znanego wskaźnika rozpadu, tj. stopnia dezintegracji (DD_{COB}), wykorzystano także autorskie wskaźniki IDi, ITi i ITd, które wykazały, że najistotniejsze parametry mające wpływ na uzyskiwane bezpośrednie wyniki to sucha masa, masa organiczna, rozpuszczone ChZT, czas ssania kapilarnego, pH, azot całkowity i fosfor całkowity oraz parametry wpływające na efekty technologiczne to sucha masa, masa organiczna, pH, czas ssania kapilarnego, azot całkowity i fosfor całkowity.

W ocenie recenzenta, ta praca ma najmniejszy udział w osiągnięciu naukowym i habilitantka mogła swobodnie nie uwzględniać jej w cyklu publikacji jednotematycznych, gdyż wśród analizowanych parametrów osadów nie uwzględniono metali ciężkich. Habilitantka w autoreferacie starała się uzasadnić wybór tej publikacji podając, iż przedstawia ona badania wpływu okresowych zmian charakterystyki (właściwości) osadów nadmiernych na efekty ich dezintegracji w polu ultradźwiękowym.

4.2.3. Tytła M. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risk in sewage sludge from municipal wastewater treatment plant located in the most industrialized region in Poland-Case study. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(13), 2430. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132430> [140 pkt. MEiN, IF2019=2,849]

Habilitantka podjęła się analizy całkowitego stężenia metali ciężkich i ich form chemicznych w osadach ściekowych. Stwierdziła, że w badanych osadach stężenia metali ciężkich nie przekraczają norm dopuszczalnych stężeń zarówno w Polsce, jak i w UE, co jest korzystne z punktu widzenia możliwego wykorzystania rolniczego. Analiza osadów ściekowych na różnych etapach technologicznych wykazała, że procesy biologiczne i zagęszczanie osadów ściekowych mają istotny wpływ na rozkład metali ciężkich, a proces stabilizacji beztlenowej i odwadnianie osadów zmniejszają mobilność metali. Analiza ryzyka przeprowadzona z wykorzystaniem różnych wskaźników wykazała, że Zn, Cd, Ni i Hg stanowią największe ryzyko ekologiczne. Porównując uzyskane wartości wskaźników autorka wywnioskowała, że w niektórych przypadkach metale ciężkie mogą być niebezpieczne dla środowiska, a w niektórych przypadkach, nie. Powyższe ustalenia potwierdziły, że wiedza o całkowitych stężeniach metali ciężkich pozwala określić jedynie poziom zanieczyszczenia osadów, a znajomość mobilności, biodostępności i toksyczności tych pierwiastków zależy od formy chemicznej w jakiej występują. Dlatego zarówno całkowite stężenie, jak i postać chemiczna metali ciężkich w osadach ściekowych, należy regularnie monitorować i kontrolować w celu identyfikacji potencjalnych zagrożeń powodowanych przez te pierwiastki. Takie podejście i wprowadzenie nowych regulacji prawnych w tym zakresie, powinno przyczynić się do ograniczenia ryzyka ekologicznego związanego

z wtórnym zanieczyszczeniem gleb metalami ciężkimi, w wyniku ich nawożenia osadami ściekowymi.

4.2.4. Tytła M. Identification of the chemical forms of heavy metals in municipal sewage sludge as a critical element of ecological risk assessment in terms of its agricultural or natural use. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(13), 4640. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134640> [140 pkt. MEiN, IF = 3,390]

Habilitationka w publikacji wykazała, że stężenia wybranych metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn i Hg) w różnych rodzajach osadów ściekowych – pochodzących z pięciu komunalnych Oczyszczalni ścieków – nie przekroczyły dopuszczalnych poziomów, pod względem możliwego rolniczego i/lub rekultywacyjnego wykorzystania. Biorąc pod uwagę skład frakcyjny metali ciężkich, habilitationka stwierdziła, że część z nich w dalszym ciągu może być niebezpieczna dla środowiska i organizmów żywych, w tym człowieka, szczególnie w przypadku wprowadzenia osadów do gleby. Powyższe wnioski wynikają z analizy ryzyka ekologicznego, która została przeprowadzona przy użyciu wskaźników ER i RI oraz wskaźników specjacji (RAC, ICF i GERI), w tym zaproponowanego przez autorkę IER i GER. Autorka ponadto wykazała, iż niektóre z istniejących wskaźników mogą nie być całkowicie wiarygodnymi narzędziami w analizie ryzyka ekologicznego (ICF i GRI). Przeprowadzona analiza ryzyka ekologicznego wykazała, że według wskaźników ogółem, największe ryzyko stwarzały Cd i Hg (ze względu na swoją toksyczność), natomiast w odniesieniu do wskaźników specjacyjnych, najbardziej niebezpieczne dla środowiska były Zn, Ni i Cd. Biorąc pod uwagę, że Zn, Ni i Cd są silnie związane z frakcjami ruchomymi, autorka doszła do wniosku, że takie osady nie powinny być stosowane na glebach lekkich i kwaśnych. Jest to ściśle powiązane z parametrami wyżej wymienionych gleb, co może zwiększać mobilność metali ciężkich w osadach ściekowych i w efekcie również prowadzić do wtórnego zanieczyszczenia środowiska tymi pierwiastkami. Co więcej, prowadzone badania wykazały również, że poziom ryzyka ekologicznego odnosił się do form chemicznych metali ciężkich i zmniejsza się w kolejnych etapach przetwarzania osadów, co jest zjawiskiem pozytywnym z punktu widzenia ich wykorzystania w rolnictwie i/lub rekultywacji terenów. Powyższe ustalenia potwierdzają, że identyfikacja form chemicznych metali ciężkich w osadach ściekowych jest kluczowym elementem oceny ryzyka ekologicznego.

4.2.5. Tytła M., Widziewicz-Rzońca K., Bernaś Z. A comparison of conventional and ultrasound-assisted BCR sequential extraction methods for the fractionation of heavy metals in sewage sludge of different characteristics. Molecules, 2022, 27(15), 4947. <https://doi.org/10.3390/molecules27154947> [140 pkt. MEiN, IF=4,600]

Przeprowadzone badania miały na celu oznaczenie stężeń Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn i Hg w osadach wstępnych oraz odwodnionych, pochodzących z miejskiej oczyszczalni ścieków. Otrzymano frakcje chemiczne metodami ekstrakcji sekwencyjnej konwencjonalnej oraz ekstrakcji wspomaganiej ultradźwiękami. Eksperymenty wykazały, że najbardziej optymalnym czasem sonifikacji dla ekstrakcji sekwencyjnej jest 30 minut. Ponadto wykazane zostało, że zastosowanie ultradźwięków pozwala na redukcję czasu ekstrakcji (etapy I–III). Wykazane również zostało, że niezależnie od rodzaju osadu, największy udział we frakcjach mobilnych (F1 i F2) miały Cd, Ni i Zn. Dla osadu wstępnego, procentowy udział tych pierwiastków w sumie frakcji F1 i F2 kształtował się następująco: 68,1% i 49,3% (Cd), 63,3% i 51,3% (Ni) oraz 71,6% i 54,1% (Zn) – przy zastosowaniu odpowiednio ekstrakcji konwencjonalnej i wspomaganiej ultradźwiękami. Natomiast dla osadu odwodnionego wyniki kształtowały się następująco: 44,4% i 34,0% (Cd), 46,2% i 39,4% (Ni), 59,3% i 50,0% (Zn).

Dodatkowo autorzy stwierdzili, że stężenia metali na ogół nie wpływają istotnie na wyniki oceny ryzyka ekologicznego (z wyjątkiem Cd i Zn w osadzie wstępnym). Uzyskane wyniki wskazują, że ekstrakcja sekwencyjna wspomaganą ultradźwiękami, może stanowić alternatywę dla konwencjonalnej metody

frakcjonowania metali ciężkich w osadach ściekowych.

4.2.6. Tytła M., Widziewicz-Rzońca K., Miszczak E., Kernert J., Słaby K., Klyta J. Effect of ultrasound on extraction of heavy metals from sewage sludge in the context of a potential ecological risk assessment. Zeszyty Naukowe SGSP, 2022, 83, 19-31. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0221> [70 pkt. MEiN]

Również w tej publikacji autorzy wykazali, że ekstrakcja sekwencyjna wspomagana ultradźwiękami jest metodą dobrą i dającą wyniki zbliżone do tych uzyskiwanych w wyniku zastosowania metody konwencjonalnej ekstrakcji. Uzyskane wyniki dowiodły, że niezależnie od metody ekstrakcji Zn jest metalem stwarzającym największe potencjalne ryzyko ekologiczne w środowisku. Biorąc jednak pod uwagę uzyskane wyniki, autorzy stwierdzili, że konieczna jest kontynuacja badań w celu określenia odpowiednich warunków ekstrakcji Zn z osadów ściekowych metodą ekstrakcji sekwencyjnej wspomaganej falami ultradźwiękowymi.

4.2.7. Tytła M., Widziewicz-Rzońca K., Kernert J., Bernaś Z., Słaby K. First comprehensive analysis of potential ecological risk and factors influencing heavy metals binding in sewage sludge from WWTPs using the ultrasonic disintegration process. Water, 2023, 15(4), 666. <https://doi.org/10.3390/w15040666> [100 pkt. MEiN, IF=3,400]

W tej pracy autorzy starali się przeprowadzić kompleksową analizę ryzyka ekologicznego siedmiu metali ciężkich w osadach ściekowych pochodzących z dwóch oczyszczalni ścieków, prowadzących proces dezintegracji ultradźwiękowej osadu nadmiernego w celu poprawy fermentacji beztlenowej. Autorzy wykazali, że stężenia metali w próbkach osadów występują w kolejności średniego stężenia Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd>Hg dla oczyszczalni ścieków nr 1 i Zn>Cr>Cu>Ni>Pb>Cd>Hg dla oczyszczalni ścieków nr 2. Odnotowane stężenia mieściły się w granicach dopuszczalnych stężeń. Wyniki badań kolejny raz potwierdziły, że najwyższe stężenia metali odnotowuje się w osadach ustabilizowanych i odwodnionych. Prawdopodobną przyczyną tego jest stężenie suchej masy i zdolność metali ciężkich do adsorpcji na powierzchni kłaczków osadu. Powyższe ustalenia zostały potwierdzone przez prosty bilans metali ciężkich. Wyniki ekstrakcji sekwencyjnej wskazały, że większość analizowanych metali, m.in. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn, była głównie związana z frakcją ulegającą utlenieniu (F3), podczas gdy Hg była związana w pozostałości (F4). Pomimo tego wartości wskaźników specjacji wskazały, że Ni, Zn, Cd, a w niektórych przypadkach Cr, stanowią największe zagrożenie ekologiczne. Z kolei analiza ryzyka przeprowadzona według wskaźników ogólnych wykazała, że ryzyko było największe dla Cd, Cu i Zn oraz w mniejszym stopniu przez Ni i Cr. Analiza statystyczna wykazała, że kluczowymi czynnikami mogącymi mieć wpływ na sposób wiązania metali ciężkich w osadach ściekowych jest pH, całkowity węgiel organiczny, materia organiczna i potencjał oksydacyjno-redukcyjny. Ponadto mobilność metali ciężkich i poziom potencjalnego ryzyka ekologicznego, w dużym stopniu zależy od procesów stosowanych w oczyszczalniach ścieków, tj. charakterystyki ścieków surowych, procesu osadu czynnego, fermentacji beztlenowej i procesu odwadniania. Ponadto uzyskane wyniki wskazały również, że ultradźwiękowa dezintegracja osadu powodująca lizę komórek oraz rozpad kłaczków osadu nie powoduje zwiększenia stężenia metali ciężkich w osadach i cieczy nadosadowej w formie mobilnej.

4.2.8. Tytła M. Ultrasonic disintegration as a fast and simple method for chemical fractionation of heavy metals in sewage sludge: A preliminary study, [in:] Proceedings of the 8th International Conference on Water Resource and Environment. Eds. Weng C-H., Book series: Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Singapore, 2023, Vol. 341, 267-278. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1919-2_18 [20 pkt. MEiN]

W tej pracy habilitantka wykazała, iż ekstrakcja sekwencyjna wspomagana ultradźwiękami skraca czas frakcjonowania metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn) w osadach ściekowych. Wyjątkiem tego była ekstrakcja Zn. Badania wykazały, że po obróbce ultradźwiękowej część Zn przechodzi z frakcji mobilnej do frakcji niemobilnej. Zaobserwowane różnice nie były bardzo duże, a stężenia cynku we frakcjach były

porównywalne. Ponadto przeprowadzone badania wykazały również, że rodzaj materiału (polipropylen lub szkło) z jakiego wykonana jest rurka ekstrakcyjna, nie ma wpływu na uzyskane wyniki, pod warunkiem, że proces ekstrakcji sekwencyjnej prowadzony był w stałej temperaturze, częstotliwości i mocy.

Ocena ogólna jednotematycznego cyklu publikacji:

Zakres prac badawczych obejmował pobieranie osadów do badań z kilku komunalnych oczyszczalni ścieków, zlokalizowanych głównie w województwie śląskim, ale również poza jego obszarem. Wybrane oczyszczalnie stosowały klasyczne metody oczyszczania ścieków i przeróbki osadów, jak również oczyszczalnie stosujące dodatkowy proces przeróbki osadów jakim jest dezintegracja ultradźwiękowa zaraz przed procesem stabilizacji beztlenowej osadów. Pani dr inż. Malwina Tytła w swoim autoreferacie (w oparciu o osiągnięcie naukowe) przedstawiła wyniki dla 3 wariantów pobieranych osadów, tj.

- WARIANT 1 (analiza osadów z trzech komunalnych oczyszczalni ścieków). Punkty poboru osadów:
 - osad wstępny, wstępny zagęszczony, nadmierny, nadmierny zagęszczony, zmieszany (wstępny po zagęszczeniu + nadmierny zagęszczony), ustabilizowany (stabilizacja beztlenowa w warunkach mezofilowych), odwodniony, oraz po higienizacji.
- WARIANT 2 (analiza osadów z pięciu komunalnych oczyszczalni ścieków, z których dwie przyjmowały wyłącznie ścieki bytowe). Punkty poboru osadów:
 - osad przed procesem stabilizacji beztlenowej (mieszanina osadu wstępnego zagęszczonego i osadu nadmiernego zagęszczonego – „osady zagęszczone”) oraz ustabilizowany (stabilizacja beztlenowa w warunkach mezofilowych) po procesie odwodniania i/lub higienizacji.
- WARIANT 3 (analiza osadów z dwóch komunalnych oczyszczalni ścieków, w których wprowadzony był proces dezintegracji ultradźwiękowej osadów tj. w pierwszej z nich dezintegracji ultradźwiękowej poddawano 80% strumienia osadów nadmiernych zagęszczonych, z kolei w drugiej 100%). Punkty poboru osadów:
 - osad wstępny (zagęszczony lub wstępny + flotujący), nadmierny, nadmierny zagęszczony, nadmierny zagęszczony po dezintegracji, zmieszany (wstępny zagęszczony + nadmierny zagęszczony – przed i po dezintegracji lub wstępny + flotujący + nadmierny zagęszczony po dezintegracji), ustabilizowany (stabilizacja beztlenowa w warunkach mezofilowych) oraz odwodniony.

Celem wytyczonym przez habilitantkę było określenie zmian, jakie zachodzą nie tylko w kontekście ogólnej zawartości/stężenia obecnych w osadach ściekowych metali ciężkich, ale również form chemicznych występowania tych pierwiastków. W swoich metodach badawczych habilitantka wykorzystwała analizę stężeń metali w osadach, mineralizatach oraz ekstraktach, z wykorzystaniem technik absorpcyjnej spektrometrii atomowej oraz technikę zimnych par (CV-AAS) przy oznaczaniu stężeń rtęci. Ponadto swoje analizy habilitantka rozszerzyła o zbadanie zależności pomiędzy metalami ciężkimi oraz parametrami/własnościami osadów ściekowych (metoda korelacji Pearsona - r-Pearsona), analizę potencjalnych źródeł pochodzenia metali ciężkich z wykorzystaniem pogłębionej analizy statystycznej (analiza skupień (klasterowa) - Cluster Analysis; CA oraz analizę składowych głównych - Principal Component Analysis; PCA), identyfikację form specyjalnych (chemicznych) metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych, w procesie ekstrakcji sekwencyjnej prowadzonej wg procedury Community Bureau of Reference (BCR).

Proces ekstrakcji sekwencyjnej BCR pozwolił na wyodrębnienie metali związanych z 3 głównymi frakcjami chemicznymi (formami), tj. jonowymienną/węglanową (metale związaną z węglanami; F1); redukcyjną (metale związane z tlenkami Mn i Fe (F2); utleniającą (metale związaną z materią organiczną i siarczkami; F3) oraz dodatkową frakcją rezydualną (metale trwale związane z osadami; F4). Największą mobilnością oraz biodostępnością odznaczały się metale związane z frakcją F1. Również te metale związane z frakcją F2 uznawane są za mobilne, przy czym uwalniają się do środowiska znacząco wolniej. Z kolei za czasowo niemobilne (w zależności od charakterystyki osadów i panujących warunków) uznawane są metale związane z frakcją F3. Natomiast metale związane z frakcją F4 są całkowicie niemobilne (niedostępne), co

oznacza, że nie stanowią zagrożenia dla środowiska. Analiza specyjalna została wykonana w celu dokonania oceny zdolności migracji wybranych metali ciężkich do środowiska gruntowo-wodnego, w kontekście ich przyrodniczego zagospodarowania. Zgodnie z uzyskanymi summarycznymi wynikami przez habilitantkę, osady charakteryzowały się większym udziałem metali we frakcjach niemobilnych (F3 i F4), w porównaniu z tymi mobilnymi (F1 i F2). Były jednak pewne wyjątki, w przypadku których udział poszczególnych pierwiastków (Zn, Ni i Cd) we frakcjach mobilnych (w sumie tych frakcji; F1+F2) przekroczył 50%.

Przykładowo w jednej z publikacji, uzyskane wyniki w analizie korelacji metodą Pearsona (*r*-Pearsona) wskazały na istnienie silnych zależności między badanymi metalami ($r=0,88 - 0,98$; przy $p < 0,05$), co może świadczyć o wspólnych źródłach pochodzenia tych pierwiastków. Z kolei w ramach analizy klasterowej (CA), habilitantka sporządziła dendrogram, w którym wyodrębniła trzy grupy metali w analizowanych osadach ściekowych. Pierwsza z nich zawierała Cd i Pb; druga Cr, Cu i Zn, natomiast trzecia Ni i Hg. Uzyskane wyniki w dużej mierze odpowiadały korelacjom wykazanim w analizie *r*-Pearsona. Następnie, aby wskazać możliwe źródła pochodzenia metali ciężkich w osadach ściekowych, habilitantka przeprowadziła analizę składowych głównych (PCA). W tym celu, w toku analizy wyodrębniła trzy czynniki główne (Principal Components; PCs). Pierwszy z nich (PC1) charakteryzował się wysokim ładunkiem Cr, Cu i Zn o wariancji 43,06%. Drugi czynnik (PC2) stanowił 39,0% całkowitej wariancji i zgrupował Cd oraz Pb. Z kolei trzeci czynnik (PC3) stanowił 15,11% wariancji i charakteryzował się wysokimi ładunkami Ni i Hg. Na tej podstawie autorka skonstatowała, że metalom, które zostały zgrupowane w danym komponencie, odpowiadały również wysokie wartości współczynnika *r*-Pearsona. Wyniki pogłębionej analizy statystycznej, pozwoliły wskazać habilitantce najbardziej prawdopodobne źródła pochodzenia tych pierwiastków tj. ścieki przemysłowe i bytowe oraz spływy powierzchniowe.

Habilitantka wykazała, że udział metali we frakcjach mobilnych, np. w przypadku cynku, niklu i kadmu, był na tyle duży, że pierwiastki te stanowiły potencjalne zagrożenie w wymiarze ekologicznym. Parametrami osadów, które miały największy wpływ na zmiany mobilności obecnych w nich metali były odczyn i potencjał redoks, jak również dodatek środków chemicznych w procesach zagęszczania i odwadniania. Wykazała również, że ze względu na zmiany mobilności metali, jakie zachodzą w ciągu oczyszczalni ścieków, wpływ stosowanych procesów na to zjawisko można uszeregować w sposób następujący: stabilizacja beztlenowa (zmniejszenie mobilności metali) > proces osadu czynnego (wzrost mobilności) > odwadnianie z dodatkiem środka chemicznego wspomagającego ten proces (wzrost mobilności) lub higienizacja (zmniejszenie mobilności) > zagęszczanie mechaniczne z dodatkiem środka chemicznego wspomagającego ten proces (zmniejszenie mobilności). Ponadto wykazała, że proces dezintegracji ultradźwiękowej nie powoduje istotnych zmian w kontekście mobilności analizowanych metali ciężkich, co jest pozytywnym zjawiskiem zarówno w kontekście samego przebiegu procesu stabilizacji beztlenowej, jak i końcowej charakterystyki komunalnych osadów ściekowych.

Dodatkowo Pani dr inż. Malwina Tytła w toku realizacji badań, skupiła się na problemach technicznych związanych z prowadzeniem procesu ekstrakcji sekwencyjnej metali. W efekcie tego habilitantka zaproponowała sposób modyfikacji procedury ekstrakcji sekwencyjnej, poprzez zastosowanie ultradźwięków. Opracowanie nowej procedury jest jednoznacznie wkładem naukowym habilitantki do dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, pomimo iż wyjaśnienia wymaga w dalszym ciągu przyczyna, dla której w procesie ekstrakcji sekwencyjnej BCR, wspomaganej ultradźwiękami, obserwowano zmiany zawartości wybranych metali (głównie cynku) w obrębie określonych frakcji chemicznych osadów ściekowych.

Porównując wartości stężeń metali ciężkich w osadach nadmiernych, zagęszczonych przed i po procesie dezintegracji ultradźwiękowej, habilitantka nie zaobserwowała żadnych istotnych różnic w zawartości tych pierwiastków. Stwierdziła zatem, iż dezintegracja ultradźwiękowa jest procesem bezpiecznym. Brak wpływu tego procesu na zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych jest zjawiskiem pozytywnym, szczególnie mając na uwadze, że zbyt wysokie stężenia tych pierwiastków w procesie stabilizacji

beztlenowej, mogą powodować zakłócenia jego przebiegu, a nawet doprowadzić do jego całkowitego załamania. Przeprowadzona dla tych osadów korelacja r-Pearsona wskazała na istnienie silnych zależności pomiędzy: Cd-Cr; Cd-Pb; Cd-Zn; Cd-Hg; Cr-Pb; Cr-Zn; Cu-Ni; Ni-Zn; Pb-Zn; Pb-Hg ($r > 0,79$) (dla oczyszczalni 1) oraz Cd-Cr; Cd-Ni; Cr-Cu; Cr-Ni; Cr-Zn; Cu-Zn; Pb-Zn ($r > 0,83$) (dla oczyszczalni 2).

Zgodnie z wymogami prawnymi obecność metali ciężkich w osadach ściekowych, obok skażenia mikrobiologicznego, stanowi jedno z podstawowych kryteriów wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie i/lub rekultywacji terenów. Ponadto biorąc pod uwagę fakt, że metale ciężkie różnią się między sobą właściwościami, poziomem toksyczności oraz zakresem stężeń w środowisku, ważnym jest, aby mieć na uwadze, że samo odniesienie ich ogólnej zawartości/stężenia w osadach ściekowych do przepisów prawa, jest niewystarczające. Wynika to z faktu, że ogólna zawartość metali w osadach ściekowych pozwala jedynie na ocenę stopnia ich zanieczyszczenia, natomiast nie jest jednoznaczna z możliwością uwolnienia tych pierwiastków do środowiska, czy ich biodostępnością. Czynnikiem warunkującym mobilność metali jest ich forma specyjna (fizyczna lub chemiczna), co stanowi jeden z wniosków z osiągnięcia naukowego Pani dr inż. Malwiny Tytła.

Niezaprzeczalnie, wykonana przez habilitantkę kompleksowa analiza ryzyka ekologicznego, przeprowadzona w oparciu o powszechnie stosowane wskaźniki, jak również te autorskie, które zostały zaproponowane w dorobku naukowym, są wkładem naukowym w dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Habilitantka słusznie zauważyła, że prowadzenie kompleksowej analizy ryzyka ekologicznego jest szczególnie ważne w kontekście rolniczego wykorzystania komunalnych osadów ściekowych (ustabilizowanych), a znajomość poziomu ryzyka stwarzanego przez metale ciężkie obecne w osadach, w całym ciągu oczyszczalni ścieków, pozwala na identyfikację potencjalnych zagrożeń, już na ich wczesnym etapie. Ułatwia to podjęcie decyzji dotyczącej sposobu zagospodarowania osadów „końcowych” (osad ustabilizowany po odwodnieniu i/lub higienizacji).

Wśród wskaźników ryzyka autorka rozpatrzyła w swoich publikacjach: Geoaccumulation Index (Igeo), Potential Ecological Risk Index (ER), Individual Contamination Factor (ICF), Risk Index, Risk Assessment Code (RAC), Enrichment Factor (EF), Global Risk Index (GRI) oraz zmodyfikowany przez Nią modified Risk Assessment Code (RACm), a także wskaźniki autorskie, tj. Individual Ecological Risk (IER), Global Ecological Risk (GER), Ecological Risk Factor (ERF), Ecological Risk of Total Metal (ERTOT), Ecological Risk of Metal Mobile Forms (ERMF). Habilitantka dokładnie wytłumaczyła, dlaczego zaproponowała zmodyfikowany wskaźnik RACm. Pierwotny wskaźnik RAC uwzględniał tylko udział danego metalu jedynie w pierwszej frakcji (F1), podczas gdy o mobilności może świadczyć związek zarówno z frakcją pierwszą - związaną z węglanami (F1), jak i z frakcją drugą - związaną z tlenkami Mn i Fe (F2). Umożliwiło to dokonanie dokładniejszej analizy ryzyka ekologicznego. Podobnie, autorka zaproponowała wskaźnik ERF (później IER), który stanowi iloraz form mobilnych i niemobilnych. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż sposób obliczenia ryzyka jest istotny w kontekście interpretacji uzyskanych wyników badań. Ponadto różni się on, w zależności od tego, czy ryzyko odnosimy do ogólnej zawartości metali, czy do ich form chemicznych występowania w osadach ściekowych.

Przedstawione wyniki potwierdzają zatem, że znajomość ogólnej zawartości metali w osadach ściekowych jest niewystarczająca, aby w pełni ocenić ryzyko ekologiczne, jakie metale te stwarzają dla środowiska, szczególnie w przypadku stosowania komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie i/lub rekultywacji. Dlatego też, przemawia to za wdrożeniem kompleksowej analizy ryzyka ekologicznego, która uwzględnia zarówno informację na temat ogólnej zawartości metali w osadach ściekowych, jak i o formach chemicznych ich występowania.

Habilitantka wykonała również prosty „bilans ryzyka”, w oparciu o wartości wybranych wskaźników, a mianowicie RI i ER (ogólna zawartość metali) oraz GER i IER (formy chemiczne metali), w odniesieniu do metali, które najczęściej stwarzały ryzyko, tj. Zn, Ni, Cd, Cu. Takie podejście pozwoliło Jej wskazać pomiędzy którymi punktami w ciągu oczyszczalni ścieków występowały największe różnice w wielkości ryzyka.

W wyniku przeprowadzonych badań Pani dr inż. Malwina Tytła wykazała, że ogólna zawartość metali

ciężkich w osadach ściekowych zależy przede wszystkim od: (1) zawartości tych pierwiastków w ściekach surowych, (2) procesów stosowanych w oczyszczalniach ścieków oraz (3) charakterystyki fizykochemicznej osadów ściekowych. W przypadku analizowanych osadów, w największym stopniu wpływ na zawartość metali w osadach pobieranych na początku ciągu oczyszczalni ścieków wywierał skład ścieków surowych. Z kolei w kolejnych punktach pobierania próbek do badań, główną rolę odgrywały procesy osadu czynnego oraz stabilizacji beztlenowej. Habilitantka doszła również do wniosku, że ważnym parametrem, mającym wpływ na stężenie metali w osadach ściekowych, było stężenie suchej masy. W osadach ściekowych, powstających we wszystkich rozpatrywanych oczyszczalniach, w największym stężeniu występował cynk, a w najmniejszym kadm i rtęć. Ponadto ustabilizowane osady ściekowe spełniały wymogi dotyczące ich wykorzystania w rolnictwie i/lub do rekultywacji.

Przeprowadzone badania dowodzą, że znajomość procesów oraz parametrów fizykochemicznych w osadach powstających, w całym ciągu oczyszczalni ścieków, pozwala na szybką identyfikację potencjalnych zagrożeń związanych z obecnością metali ciężkich w osadach ściekowych, szczególnie tych „końcowych”, które należy poddać utylizacji lub zagospodarować. Zatem monitorowanie ogólnej zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych, w całym ciągu oczyszczalni ścieków, może stanowić jedną z metod ochrony środowiska gruntowo - wodnego przed wtórnym zanieczyszczeniem tymi pierwiastkami.

W toku swych badań habilitantka doszła do wniosku, że następowało zmniejszenie mobilności metali w technologicznym ciągu osadowym, co przekładało się na zmniejszenie ryzyka w odniesieniu do osadów przeznaczonych do końcowego zagospodarowania. Pani dr inż. Malwina Tytła stwierdziła, że była to przede wszystkim zasługa procesu stabilizacji beztlenowej, który przyczynił się do zmniejszenia udziału metali związanych z frakcjami mobilnymi, na rzecz tych niemobilnych.

Uzyskane wyniki analizy ryzyka wskazały, że główną drogą narażenia na metale obecne w osadach ściekowych jest droga pokarmowa (w wyniku spożycia warzyw, czy owoców, zabrudzonych glebą, która była nawożona osadami ściekowymi). Ponadto, wynikiem analizy był wniosek, iż na metale ciężkie dostające się tą drogą są bardziej narażone są dzieci niż osoby dorosłe. W odniesieniu do metali, które nie posiadały właściwości rakotwórczych (Cu, Zn, Hg), habilitantka stwierdziła brak ich negatywnego oddziaływania w wymiarze zdrowotnym (brak ryzyka). Natomiast w odniesieniu do metali posiadających właściwości rakotwórcze (Cd, Ni, Pb, Zn) habilitantka stwierdziła, że istnieje ryzyko, które zależne jest od osadów (pochodzenia/oczyszczalni). Przykładowo w jednym przypadku istniało ryzyko zdrowotne w odniesieniu do Ni (dla obu grup demograficznych), a w innym przypadku takie ryzyko stwarzały Cr i Cd, ale tylko w odniesieniu do dzieci.

Ponadto przeprowadzone obliczenia, pozwoliły również na potwierdzenie zasadności stosowania autorskich wskaźników ryzyka, zaproponowanych przez habilitantkę w kompleksowej analizie ryzyka ekologicznego. Omówione badania zwracają także uwagę, na konieczność testowania różnych wskaźników, w celu uzyskania jak najlepszej wiedzy w kontekście oceny i szacowania ryzyka ekologicznego oraz interpretacji uzyskanych wyników.

5. Pozostały dorobek naukowy, działalność dydaktyczna i popularyzatorska

Oprócz cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.) Habilitantka przedstawiła, jako wykaz osiągnięć naukowych szereg innych publikacji. Były to:

- 1 współautorstwo monografii
- 13 rozdziałów w monografiach naukowych,
- 27 publikacji w czasopismach ujętych na listach MEiN/MNiSW (7 wydanych przed uzyskaniem stopnia doktora),
- 6 publikacji w czasopismach nieujętych na listach MEiN/MNiSW (wszystkie po uzyskaniu stopnia

doktora).

Pani dr inż. Malwina Tytła brała udział w 19 Konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym, na których prezentowała wyniki swoich badań (14 po uzyskaniu stopnia doktora, w tym 6 na konferencjach międzynarodowych). W trakcie tych Konferencji wygłosiła 2 referaty i przedstawiła wyniki badań w postaci 23 posterów.

Sumaryczna liczba punktów według kryteriów MEiN/MNiSW za publikacje naukowego wynosi 1664. Publikacje wymienione w osiągnięciu naukowym stanowią łącznie 660 punktów. Sumaryczny Impact Factor publikacji wynosi 43,118, z czego publikacje wymienione w osiągnięciu naukowym mają łączny IF = 17,908. Liczba cytowań (dane wg autorki, stan do 23.09.2023 r.) wynosi odpowiednio: wg bazy Web of Science 292 cytowań, wg bazy Scopus 322 cytowań, wg Google Scholar 486 cytowań, przy czym liczba cytowań publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wynosi odpowiednio: wg bazy Web of Science 169 cytowań, wg bazy Scopus 191 cytowań, wg Google Scholar 260 cytowań. Indeks Hirscha to odpowiednio: 8 wg bazy Web of Science, 8 wg bazy Scopus, 10 wg bazy Google Scholar.

Przedstawiony dorobek naukowy świadczy o dużej samodzielności w prowadzeniu prac naukowych i podejmowaniu nowych wyzwań badawczych przez Habilitantkę.

Obok osiągnięć naukowych w formie publikacji i wystąpień na Konferencjach Pani dr inż. Malwina Tytła przedstawiła szereg innych informacji o swojej działalności naukowej. Brała czynny udział w pracach zespołów badawczych – 3 przed uzyskaniem stopnia doktora oraz 6 po uzyskaniu stopnia doktora (w trzech była kierownikiem projektu). Brała ponadto udział w innych projektach finansowanych z różnych źródeł i o różnym znaczeniu i zasięgu (5 przed uzyskaniem stopnia doktora i 6 po uzyskaniu stopnia doktora). W roku 2014 odbyła staż na Uniwersytecie Technicznym w Ostrawie; na przełomie lat 2017/2018 odbyła 40 dniowy staż na Politechnice Śląskiej w Gliwicach; a w roku 2023 odbyła 14 dniowy staż w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, obecnie Akademii Pożarniczej. Wszystkie staże zakończyły się wymiernymi efektami w postaci publikacji naukowych. Habilitantka jest oficjalnym członkiem w Radach recenzentów czasopisma Water oraz Applied Science, redaktorem tematycznym i gościnnym w czasopiśmie Sustainability, a ponadto wykonała recenzje 100 artykułów w wielu czasopismach naukowych. Pani dr inż. Malwina Tytła brała również udział w opracowaniu 7 ekspertyz lub innych opracowań na zlecenie różnych instytucji. Habilitantka, w swojej działalności popularyzatorsko-naukowej, wykazała się również doświadczeniem w realizacji oraz prowadzeniu zajęć dydaktycznych dla studentów kierunku inżynieria środowiska oraz ochrona środowiska Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w ramach przedmiotów: hydrologia i gospodarka wodna oraz podstawy gospodarowania wodą.

6. Konkluzja końcowa

Praca stanowi próbę samodzielnego rozwiązania problemu naukowego, który pozostaje w obszarze technologii wody i ścieków.

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe (zbiór artykułów) stanowi logiczną całość, zawarta dyskusja jest zwarta i klarowna, wyniki badań są precyzyjnie omawiane. Całość jest świadectwem biegłości wiedzy, którą zgłębiła Habilitantka w tematyce prowadzonych badań, a także zdolności wyprowadzania syntetycznych wniosków z dużej ilości danych, uzyskanych z procesów prowadzonych w skali technicznej.

W moim przekonaniu, uzyskane przez habilitantkę wyniki badań stanowią wkład w dotychczasowy stan wiedzy w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka w obszarze technologii wody i ścieków. Niewątpliwie, tak szerokie i szczegółowe podejście do tematyki prac, pozwoliło Pani dr inż. Malwinie Tytła na określenie udziału metali ciężkich w ciągu osadowym, z uwzględnieniem ich formy chemicznej. Dodatkowo wykonana analiza ryzyka ekologicznego stanowi wkład w dyscyplinę IŚGiE.

Wskazane przez habilitantkę dalsze kierunki badań, a zwłaszcza konieczność analizy ryzyka zdrowotnego pod kątem oceny efektów narażenia, związanych z obecnością metali ciężkich w osadach

ściekowych, jest ważnym zagadnieniem.

Biorąc pod uwagę pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego (cykl publikacji pod wspólnym tytułem „Metale ciężkie oraz ich formy chemiczne w komunalnych osadach ściekowych a ryzyko ekologiczne”) oraz pozostałego dorobku naukowego (walory merytoryczne i formalne), a także szerokie doświadczenie badawcze, stwierdzam, iż w mojej ocenie Pani dr inż. Malwina Tytła spełnia ustawowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). Wnioskuje zatem o dopuszczenie Pani dr inż. Malwiny Tytła do dalszych etapów zmierzających do nadania stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Z poważaniem



dr hab. inż. Klaudiusz Grübel, prof. UBB