



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy



Załącznik 3

*do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie
nadania stopnia doktora habilitowanego*

dr Karolina Furtak

Autoreferat

Puławy, 2025 r.

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
3.1. Doświadczenie zawodowe	3
3.2. Staże i praktyki	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce	5
4.1. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy	5
4.1.1. Tytuł osiągnięcia	5
4.1.2. Wykaz autorskich publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	5
4.1.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	7
4.1.3.1. Wprowadzenie	7
4.1.3.2. Uzasadnienie kontynuacji tematyki badawczej	11
4.1.3.3. Hipoteza badawcza i cel badań	12
4.1.3.4. Materiał badawczy i metody badawcze	13
4.1.3.5. Opis przeprowadzonych badań	15
I. Określenie wpływu działalności człowieka na jakość środowiska glebowego mad rzecznych	15
II. Ocena bioróżnorodności i potencjału metabolicznego społeczności grzybów w madach rzecznych	17
III. Określenie wpływu symulowanej powodzi na społeczność mikroorganizmów glebowych bytujących w madach rzecznych	18
4.1.3.6. Podsumowanie i wykorzystanie wyników	21
4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy	23
4.2.1. Tytuł osiągnięcia	23
4.2.2. Zakres osiągnięcia	23
4.2.3. Hipoteza badawcza i cel projektu	24
4.2.4. Materiały badawcze i metody badawcze	24
4.2.5. Opis uzyskanych wyników	25
4.2.6. Podsumowanie i wykorzystanie wyników	25
4.3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych	26

I. Ocena bioróżnorodności funkcjonalnej społeczności mikroorganizmów glebowych z wykorzystaniem metody Biolog® w różnych glebach	26
II. Ocena wpływu wybranych egzogennych osmoprotektantów na jakość środowiska glebowego oraz wzrost i plonowanie pszenicy jarej w warunkach stresowych	27
III. Ocena występowania potencjalnych patogenów bakteryjnych w glebach położonych na terenach zalewowych rzeki Wisły w województwie lubelskim	28
IV. Analiza mikrobiomu wody rzecznej na przykładzie rzeki Wisły przepływającej przez obszar Natura 2000 oraz wody powodziowej	29
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej	30
5.1. Studia oraz początki pracy naukowej	30
5.2. Badania prowadzone w ramach realizacji rozprawy doktorskiej	33
5.3. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora	34
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę	36
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne	36
6.2. Działalność organizacyjna	37
6.2.1. Uczestnictwo w komitetach organizacyjnych konferencji i wydarzeń naukowych	37
6.2.2. Członkowsko w organizacjach naukowych	38
6.2.3. Pozostała działalność organizacyjna	39
6.3. Działalność popularyzująca naukę	39
7. Inne informacje dotyczące dorobku naukowego	40
7.1. Nagrody i wyróżnienia	40
7.2. Podsumowanie wskaźników dokonań naukowych	42
7.3. Przerwa w działalności naukowej	43
7.4. Profile w bazach danych	43
8. Spis tabel i figur	43
8.1. Tabele	43
8.2. Figury	43
9. Literatura uzupełniająca	44

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Karolina Furtak
Data i miejsce urodzenia: 02.02.1991, Puławy
Miejsce pracy: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
Dane kontaktowe: tel. kom. 665 346 124; tel. sł. 81 4786 961;
e-mail: kfurtak@iung.pulawy.pl; karola_r@vp.pl

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

09.2020 Uzyskanie stopnia naukowego **doktora nauk rolniczych**; dyscyplina rolnictwo i ogrodnictwo; specjalność mikrobiologia gleby. Tytuł rozprawy: *Wpływ symulowanej powodzi na bioróżnorodność strukturalną i funkcjonalną mikrobiomu wybranych mad rzecznych*. **Nadanie stopnia naukowego doktora: 21.09.2020**, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy.

Promotor: dr hab. Anna Gałązka, prof. IUNG-PIB;

Promotor pomocniczy: dr Jacek Niedźwiecki;

Recenzenci: dr hab. inż. Maria Chmiel, prof. UR; prof. dr hab. Maciej Walczak.

2013 – 2015 Studia II stopnia, magisterskie. **Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II** w Lublinie, Wydział Biotechnologii i Nauk o Środowisku. Kierunek: **biotechnologia**. Temat pracy: *Oznaczenie wartości odżywczych mikroorganizmów metanotroficznych pochodzących z różnych środowisk*. Pod kierunkiem Prof. dr hab. Zofii Stępniewskiej, Katedra Biochemii i Chemii Środowiska. Uzyskanie **tytułu zawodowego magistra: 26.06.2015**.

2010 – 2013 Studia I stopnia, licencjackie. **Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II** w Lublinie, Wydział Biotechnologii i Nauk o Środowisku. Kierunek: **biotechnologia**. Temat pracy: *Otrzymywanie, właściwości i zastosowanie nanostruktur tytanu i jego stopów*. Pod kierunkiem Prof. dr hab. Piotra Staszczuka, Katedra Bionanomateriałów. Uzyskanie **tytułu zawodowego licencjata: 05.07.2013**.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

3.1. Doświadczenie zawodowe

09.2022-obecnie Zatrudnienie w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym** w Puławach, w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej. Stanowisko: adiunkt

- 04.2020-09.2022** Zatrudnienie w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**, w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej. Stanowisko: asystent
- 05.2019-04.2020** Zatrudnienie w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**, w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej. Stanowisko: specjalista badawczo-techniczny
- 01.2017-04.2019** Zatrudnienie w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**, w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej. Stanowisko: specjalista
- 01.10-12.2016** Zatrudnienie w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**, w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej. Stanowisko: technik

3.2. Staże i praktyki

- 05-09.08.2024** Staż naukowy w Zakładzie Mikrobiologii i Ryzosfery w **Instytucie Ogrodnictwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Skierniewicach**
- 04-11.09.2023** 4th FEMS Summer School for Postdocs w **Mediterranean Institute for Life Sciences (MedILS)** w Split, Chorwacja.
- 28.08.-02.09.2022** Staż naukowy w Katedrze Mikrobiologii i Biomonitoringu **Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie**.
- 01.04-09.2016** Staż w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**.
- 01.07-31.07.2014** Praktyki nadprogramowe w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**.
- 02–27.07.2012** Praktyki studenckie w Zakładzie Chorób Drobiu w **Państwowym Instytucie Weterynaryjnym – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach**.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy

4.1.1. Tytuł osiągnięcia

Ocena oddziaływania nadmiernej wilgotności środowiska na jakość i bioróżnorodność mikrobiologiczną mad rzecznych (Fluvisols) użytkowanych rolniczo oraz jako użytki zielone, ze szczególnym uwzględnieniem społeczności grzybów.

4.1.2. Wykaz autorskich publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Jako podstawę osiągnięcia naukowego wybrano cykl sześciu publikacji monotematycznych, oryginalnych publikacji naukowych, których sumaryczny *impact factor* wg roku wydania wynosi 23,939, a liczba punktów 640 wg obecnie obowiązującego wykazu z Komunikatu Ministra Nauki z dn. 5 stycznia 2024 r. Poza publikacją I.1.5 wszystkie pozostałe zostały opublikowane w czasopismach ze wskaźnikiem Q1 w JCR category rank¹ dla takich dziedzin, jak: rolnictwo, nauki o roślinach, nauki rolnicze i biologiczne, gleboznawstwo, biologia.

W każdej publikacji wchodzącej w skład cyklu publikacji powiązanych ze sobą tematyczne artykułów pełniłam rolę autora wiodącego oraz korespondencyjnego, a prezentowane w nich wyniki są rezultatem realizacji projektów, których byłam kierownikiem. Ze względu na kontynuację i poszerzenie przeze mnie tematyki badawczej podjętej przed uzyskaniem stopnia doktora jedna publikacja [I.1.1] pochodzi właśnie z tego okresu. Kopie publikacji wraz z oświadczeniami współautorów i moim stanowią **Załącznik 5**.

Zastosowana numeracja jest spójna z numeracją zastosowaną w **Załączniku 4** i w ten sam sposób prace są przywoływane przeze mnie w tekście.

W skład osiągnięcia wchodzi następujące publikacje:

Lp.	Bibliografia	IF wg roku wydania	Punkty MNiSW wg aktualnego wykazu ²	Punkty wg roku wydania
I.1.1	Furtak K. , Gawryjołek K., Marzec-Grządziel A., Niedźwiecki J. (2024): <i>The Influence of Human Agricultural Activities on the Quality of Selected Fluvisols from the Vistula River Valley, Poland—Preliminary Research</i> . <i>Agronomy</i> , 14(3), 480, ISSN: 2073-4395;	3,300	100	100

¹ Journal Citation Reports category rank na podstawie bazy Web of Science

² Komunikat Ministra Nauki z dn. 5 stycznia 2024 r.

	https://doi.org/10.3390/agronomy14030480			
I.1.2	Furtak K., Grządziel J., Gałązka A., Gawryjolek K., Niedźwiecki J. (2021): <i>Fungal biodiversity and metabolic potential of selected fluvisols from the Vistula River valley in Lubelskie, Poland</i> . Applied Soil Ecology, 160, 1038, ISSN 0929-1393; https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103866	5,509	140	140
I.1.3	Furtak K., Wolińska A. (2023): <i>The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review</i> . CATENA, 231, 107378, ISSN: 1872-6887; https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378	6,200	140	140
I.1.4	Furtak K., Grządziel J., Gałązka A. (2022): <i>Can Model Experiments Give Insight into the Response of the Soil Environment to Flooding? A Comparison of Microcosm and Natural Event</i> . Biology, 11, 3, 386, ISSN 2079-7737; https://doi.org/10.3390/biology11030386	5,079	100	100
I.1.5	Furtak K., Grządziel J. (2023): <i>Fungal community change in selected fluvisols under simulated flooding condition</i> . Polish Journal of Agronomy, 52, 31-42, ISSN: 2081-2787; doi: 10.26114/pja.iung.511.2023.52.04	-	20	40
I.1.6	Furtak K., Grządziel J., Gałązka A., Niedźwiecki J. (2020) ³ : <i>Prevalence of unclassified bacteria in the soil bacterial community from floodplain meadows (fluvisols) under simulated flood conditions revealed by a metataxonomic approach</i> . CATENA, 188, 104448, ISSN 0341-8162; https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104448	3,851	140	140
Suma		23,939	620	640

³ publikacja została wydana przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

4.1.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.1.3.1. Wprowadzenie

Znaczenie mikroorganizmów w środowisku glebowym

Gleba jest złożonym i dynamicznym ekosystemem, którego funkcjonalność jest powiązana z równowagą pomiędzy wieloma parametrami chemicznymi, fizycznymi i biologicznymi oraz obecnymi tam społecznościami mikrobiologicznymi. W tym środowisku żyje wiele różnych mikroorganizmów takich, jak bakterie, archeony, grzyby, drożdże, pierwotniaki i mikroalgi. Organizmy te, tworzą wielogatunkowe społeczności, które jako zbiorowość odpowiadają za funkcjonalność danego środowiska. Ich liczebność, aktywność oraz zróżnicowanie, zarówno strukturalne, jak i funkcjonalne, bezpośrednio wpływa na żyzność i jakość gleby^{1,2}. Zespół obecnych w glebie mikroorganizmów, współpracujących ze sobą oraz tworzących układ syntroficzny nazywany jest mikrobiomem^{3,4}.

Różnorodność gatunkowa czy też genetyczna mikrobiomu występującego w danym ekosystemie nazywana jest różnorodnością strukturalną. Odzwierciedla ona heterogeniczność środowiska glebowego oraz jest kluczowym czynnikiem determinującym jego funkcjonowanie^{1,5}. Zróżnicowanie oraz ogół funkcji pełnionych przez pojedyncze gatunki i całe konsorcja mikroorganizmów jest określane, jako różnorodność funkcjonalna. Dzięki niej, możliwe jest zrozumienie zasad oraz interakcji panujących w danym środowisku.

Różnorodność oraz aktywność konsorcjów mikroorganizmów w glebie zależy od wielu czynników, zarówno naturalnych, jak i pochodzenia antropogenicznego. Bardzo ważnym regulatorem mikrobiomu glebowego są czynniki edaficzne, które definiuje się jako całokształt warunków fizycznych i chemicznych w glebie⁶. Wyodrębnia się je spośród innych abiotycznych czynników ekologicznych ze względu na kluczową rolę w regulacji całych ekosystemów lądowych. Wpływają one w sposób pośredni bądź bezpośredni na żywotność i funkcjonowanie organizmów żywych oraz stanowią podstawowy filtr ekologiczny wpływający na mikrobiomy glebowe⁷. Wśród czynników edaficznych wyróżnić można: strukturę i typ gleby, temperaturę gleby, wilgotność gleby, odczyn gleby (kwasowość, zasolenie), ciśnienie panujące w glebie; zawartość węgla i azotu oraz zawartość pierwiastków śladowych.

Mady rzeczne i tereny zalewowe

Mady rzeczne są nazywane glebami dolin rzecznych. Opisuje się je również jako fluwisole (ang. Fluvisols), ze względu na charakter ich powstawania – *fluwialne*, czyli związane z działalnością wód płynących. Stąd też mady rzeczne często określane są jako gleby napływowe. Charakteryzuje je obecność w profilu naprzemianległych warstw o różnym składzie granulometrycznym. Dominujące typy utworów decydują o gatunku mady, które można podzielić na lekkie, średnie i ciężkie⁸. Gleby te pełnią liczne funkcje środowiskowe, w szczególności uczestniczą w retencji wody⁹.

Mady są glebami występującymi na całym świecie, wzdłuż dolin rzecznych i wybrzeży morskich. Największe obszary mad znajdują się w Egipcie, Mezopotamii, w Indiach, na Nizinie

Chińskiej. W Polsce występują w dolinach dużych rzek – Wisły, Odry, Warty, Noteci, Bugu, Wieprza, Sanu. Łączna powierzchnia mąd na terenie Polski wynosi około 78 tysięcy hektarów - 5% kraju ¹⁰. Najliczniej występują na Żuławach Wiślanych, gdzie są również szczególnie żyzne, a więc stanowią wysoką wartość rolniczą i ekologiczną.

Szerokie obszary tarasów zalewowych, gdzie gromadzą się mady, od dawna są wykorzystywane przez człowieka w rolnictwie. Mady rzeczne ze względu na swoją żyzność stanowią doskonałą podstawę pod pola uprawne. Obszary nadrzeczne były wykorzystywane przez człowieka do celów rolniczych od czasów starożytnych ze względu na bogactwo składników odżywczych i dostępność wody ¹¹. W zależności od kultury, sposobu wykorzystywania i podłoża, mady są określane jako przynależące do różnych kompleksów rolniczych – zarówno pszennego bardzo dobrego jak i zbożowo-pastewnego mocnego. Oznacza to, że wartość użytkowa mąd waha się od 1 aż do 5 klasy bonitacyjnej.

Wartość rolnicza mąd jest ogólnie dość duża, jednakże, obszary na których występują bywają okresowo zalewane, a to skutkuje sezonową restrukturyzacją mikrobiomu glebowego. W ostatnich latach nasiliły się jednak ekstremalne zjawiska hydrologiczne ¹², w tym powódzie, co wpłynęło na ograniczenie upraw na obszarach nadrzecznych i przekształcenie tych obszarów w użytki zielone. O tym, jak uprawa wpływa na jakość mąd rzecznych, niestety niewiele jest badań ¹³. Badania zwykle dotyczą typowych terenów podmokłych ¹⁴, a nie okresowo zalewanych. Obecnie dostępnych jest niewiele badań dotyczących interakcji między agroekosystemami a środowiskiem rzeczny. Ponadto brakuje analizy wpływu użytkowania gruntów rolnych na jakość mikrobiologiczną terenów zalewowych.

Wpływ człowieka na bioróżnorodność mikrobiologiczną gleb

Działalność rolnicza człowieka wpływa na jakość gleby, która odgrywa ważną rolę pod względem jakości upraw i bezpieczeństwa żywnościowego. Termin „zdrowie gleby”, »jakość gleby« odnosi się do zdolności gleby do pełnienia funkcji takich jak utrzymywanie produktywności upraw i zwierząt, utrzymywanie równowagi środowiskowej w granicach danego ekosystemu ¹⁵.

W agroekosystemach jakość gleby jest modyfikowana przez działalność antropogeniczną. Na obszarach rolniczych na glebę mają wpływ stosowane praktyki uprawowe, w tym użycie ciężkiego sprzętu, stosowanie nawozów (mineralnych, obornika) i środków ochrony roślin, nawadnianie/susza, wypas zwierząt itp. ¹⁶. W ekosystemach rolniczych składniki odżywcze są pobierane ze środowiska podczas zbioru plonów. Grunty orne, w porównaniu do obszary naturalne, charakteryzują się większym potencjalnym wymywaniem składników odżywczych (w tym azotanów), erozją i emisją CO₂ ¹⁷. Niewłaściwe, zbyt intensywne praktyki rolnicze prowadzą do degradacji środowiska glebowego poprzez zasolenie, zakwaszenie, zagęszczenie, utratę składników odżywczych i materii organicznej, spadek bioróżnorodności i zakłócenie cyklu hydrologicznego.

Zjawisko degradacji gleby wynikające z działalności rolniczej, ale także jako konsekwencja zmian klimatu, jest jednym z najbardziej krytycznych i niepokojących wyzwań XXI wieku. Wynika to przede wszystkim z faktu, że około 95% żywności i paszy produkowanej dla ludzi i zwierząt zależy od gleby ¹⁸, a liczba ludności na świecie rośnie o około 1,1% rocznie, a jeśli obecne trendy się utrzymają, do 2050 r. osiągnie 9,7 mld ¹⁹.

Wilgotność gleby

Wilgotność gleby stanowi jeden z najważniejszych parametrów gleby w rolnictwie. Parametr ten, wyraża procentową zawartość wody w glebie i świadczy o jej zasobności w wodę. Wilgotność gleby decyduje o wszelkich procesach zachodzących w środowisku glebowym, a jej pomiar jest jednym z istotniejszych w badaniach gleboznawczych. Woda zawarta w glebie wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami nazywana jest roztworem glebowym. Źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne, podsiąki kapilarne od wód gruntowych, kondensacja pary wodnej, nawodnienia prowadzone przez człowieka oraz nawożenia organiczne. W Polsce podstawowym źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne ²⁰.

Wilgotność gleby determinuje część właściwości fizycznych i chemicznych gleby oraz wpływa na jej aktywność biologiczną. Wśród właściwości fizycznych gleby modyfikowanych przez zawartość wody wyróżnić można stan aeracji gleby oraz stabilność koloidów glebowych. Zawartość wody wpływa przede wszystkim na odczyn gleby, dyfuzję rozpuszczalników i gazów, czy rozpuszczalność soli. Stanowi również element procesów hydrolizy oraz determinuje tempo mineralizacji węgla i azotu ²¹. Wykazano, że wilgotność gleby koreluje z liczebnością bakterii oraz grzybów ²².

Naturalne wahania wilgotności związane ze zmianami pór roku oraz rozkładem i ilością opadów atmosferycznych stanowią ważny czynnik środowiskowy wpływający na wzrost i metabolizm mikroorganizmów. W ostatnich czasach wzrasta w Polsce częstotliwość różnych zjawisk hydrologicznych, takich jak powodzie i okresowe podtopienia. Dodatkowo, wydłużają się okresy suszy. Stres hydrologiczny wywołany tymi zjawiskami wpływa na funkcjonowanie mikrobiomów glebowych ²³.

Nadmierna wilgotność gleby może być wywołana powodzią, roztopami, intensywnymi opadami atmosferycznymi. Do nagromadzania się wody w glebie przyczynia się niewłaściwe użytkowanie gruntów. Po zimie często obserwuje się tzw. zastoiska wodne, które często wiążą się z brakiem bądź niesprawną melioracją, zarośniętymi rowami, czy nadmiernym zagęszczeniem gleb. Nadmiar wody występuje znacznie rzadziej niż susza, ale skutki długotrwałej i wzmożonej wilgotności są bardziej dotkliwe dla środowiska glebowego ^{24,25}. Wśród przyczyn występowania nadmiernej wilgotności gleby wymienia się między innymi powódź. Zgodnie z Dyrektywą Unii Europejskiej **powódź** to „czasowe pokrycie wodą terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą” ²⁶. Polskie prawo definiuje powódź jako „wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa doliny rzeczne albo tereny depresyjne i powoduje zagrożenia dla ludności lub mienia” ²⁷.

Obecnie w literaturze krajowej i światowej brakuje badań dotyczących wpływu nadmiernej wilgotności na gleby rolnicze oraz oddziaływania okresowych zalewań na jakość gleb położonych na obszarach zalewowych ¹². Sama analiza wpływu powodzi i podtopień na środowisko glebowe jest trudna do przeprowadzenia ²⁸. Zazwyczaj badania dotyczą sytuacji po wystąpieniu powodzi ²⁹, ale brakuje w nich analizy próbek kontrolnych sprzed powodzi. Przeprowadzenie takich obserwacji jest łatwiejsze dzięki badaniom opartym na modelach ^{30,31}. Szeroko badane są tereny zalewane przez człowieka w celu uprawy ryżu. Jednakże środowisko glebowe z takich pól jest już przystosowane do zmiennych stanów nawodnienia. Pola ryżowe tworzą swoiste ekosystemy, których homeostaza ustala się na przestrzeni wielu lat upraw ³².

Dotacja dla młodych naukowców i rozprawa doktorska – rozpoczęcie badań

Mady rzeczne oraz wpływ symulowanej powodzi stanowiły temat badawczy projektu pt. „Wpływ letnich powodzi na zmiany bioróżnorodności strukturalnej i funkcjonalnej mikrobiomu wybranych mad rzecznych”, który realizowałam w ramach programu pn. Młodzi Naukowcy w ramach subwencji naukowej MNiSW dla IUNG-PIB (Finansowanie IUNG-PIB/MNiSW), [II.13.2, Tabela II.13, Załącznik 4]. Głównym celem badań była ocena zmian bioróżnorodności strukturalnej i funkcjonalnej społeczności bakterii glebowych zachodzących pod wpływem krótkotrwałej powodzi w wybranych madach rzecznych.

Cele szczegółowe stanowiły:

- analizę zmian zachodzących po ustąpieniu warunków symulowanej powodzi oraz ocenę możliwości powrotu aktywności biologicznej gleb do stanu sprzed wystąpienia stresu hydrologicznego;
- porównanie aktywności biologicznej oraz bioróżnorodności bakterii glebowych wybranych mad rzecznych z dorzecza Wisły, w tym próbę określenia ich mikrobiomu rdzeniowego.

W ramach projektu analizowano wpływ krótkotrwałej powodzi na trzy wybrane mady rzeczne: mada średnia, lekka i bardzo lekka. Zgodnie z obowiązującą systematyką gleb Polski ³³ wytypowane mady to: dwie mady właściwe typowe (SFt) oraz mada czarnoziemna typowa (CFt). Wybrane gleby pochodziły z okolic miejscowości Janowiec (powiat puławski, województwo lubelskie) położonych na terenie Małopolskiego Przełomu Wisły. I etap prac obejmował wybór i charakterystykę materiału glebowego: charakterystyka fizykochemiczna oraz biologiczna, analiza składu społeczności bakterii glebowych. Natomiast w II etapie projektu założono i prowadzono doświadczenie symulowanej powodzi w kontrolowanych warunkach (tzw. *microcosm*). Próbkę glebową do analiz pobierano w trakcie trwania zalania (7 i 14 dzień) oraz po 56 od ustąpienia wody. Wykonane analizy obejmowały:

- analizy fizykochemiczne wybranych gleb (Etap I);
- analizy aktywności enzymatycznej gleb (Etapy I-II);
- analizę różnorodności strukturalnej społeczności bakterii w glebie oraz w wodzie z Wisły – sekwencjonowanie następnej generacji (NGS) regionu V3-V4 16S rRNA (Etapy I-II);
- analizy zmian w różnorodności funkcjonalnej społeczności bakterii glebowych z użyciem systemu Biolog® EcoPlate™ (określenie profilu metabolicznego społeczności bakterii) oraz charakterystyka potencjału metabolicznego mikroorganizmów bytujących w wodzie z Wisły (Etap II).

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy uzyskanych wyników sformułowałam następujące wnioski:

- Wybrane mady rzeczne różniły się istotnie, zarówno pod względem parametrów fizykochemicznych, biologicznych, jak i struktury oraz funkcjonalności społeczności bakterii glebowych;

- Większe zróżnicowanie struktury mikroorganizmów oraz ich potencjał metaboliczny w madach rzecznych nie był bezpośrednio związany z żyznością gleby.
- Nadmierna wilgotność w glebie powstała na skutek symulowanej powodzi wpływała istotnie na zmiany odczynu gleby, aktywność dehydrogenaz, a także na potencjał metaboliczny i różnorodność strukturalną zbiorowisk bakterii glebowych;
- Istotny statystycznie spadek wartości pH oraz jednoczesny wzrost aktywności dehydrogenaz wskazują na powstanie warunków beztlenowych i zachodzenie procesów fermentacji podczas stagnacji wody;
- Po 56 dniach ustąpienia zalania aktywność dehydrogenaz oraz wartość pH powróciły do stanu sprzed powodzi w dwóch, z trzech badanych mad rzecznych: madzie średniej (F1) oraz madzie lekkiej (F2);
- Podczas powodzi w madach rzecznych wzrosła liczebność rodzin bakterii anaerobowych oraz fakultatywnie anaerobowych;
- W wyniku stresu powodzi w madach rzecznych zróżnicowanie strukturalne społeczności bakterii oraz ich potencjał metaboliczny uległy zwiększeniu;
- Wykazano, że mady rzeczne, choć różnią się wieloma parametrami, posiadają rodzimy mikrobiom, którego przedstawiciele byli obecni w glebach przez cały okres trwania doświadczenia;
- Uzyskanie znacznej liczby niezidentyfikowanych sekwencji bakterii (ponad 90% w każdej madzie), jednoznacznie potwierdza tezę, że w świecie bakterii glebowych kryje się wciąż wiele niewiadomych.

Wyniki zostały opublikowane jako cykl trzech monotematycznych artykułów naukowych [II.4.9, II.4.14, Tabela II.4, Załącznik 4 oraz I.1.6, Tabela I.1, Załącznik 4] uzupełnionych o dwa artykuły przeglądowe [II.4.12, Tabela II.4, Załącznik 4] i jeden rozdział w monografii [II.2.5, Tabela II.2, Załącznik 4], których zakres był zgodny z tematyką, o sumarycznym *Impact factor* 7,927 (wg roku wydania) oraz sumie 295 punktów ministerialnych (wg roku wydania). Osiągnięcie to stanowiło podstawę mojej rozprawy doktorskiej. Publikacja pt. „*Prevalence of unclassified bacteria in the soil bacterial community from floodplain meadows (fluvisols) under simulated flood conditions revealed by a metataxonomic approach*” [I.1.6] ze względu na istotny wpływ na dziedzinę oraz duże zainteresowanie społeczności naukowej została przeze mnie włączona do osiągnięcia 4.1, jako uzupełnienie omawianych przeze mnie wyników.

4.1.3.2. Uzasadnienie kontynuacji tematyki badawczej

Uzyskanie znacznej ilości danych oraz świadomość, jak ważne są badania gleb z terenów zalewowych zdecydowałam się na kontynuację badań w tym zakresie. W roku 2020 otrzymałam pozytywną decyzję z Narodowego Centrum Nauki dotyczącą przyznania mi finansowania na realizację projektu pt. „*Poszukiwanie bakterii adaptujących się do ekstremalnych warunków wilgotności gleby oraz ocena wpływu stresu hydrologicznego na jakość środowiska glebowego*” (nr 2019/35/N/NZ9/00830).

Głównym celem naukowym projektu była ocena zmian zachodzących w środowisku glebowym w wyniku stresu hydrologicznego, w tym zmian w strukturze zbiorowisk bakterii

i ich potencjalnej odporności na stres. W ramach realizacji projektu badano świeże próbki wybranych gleb (uprawianą rolniczo oraz nieuprawianą madę rzeczną, Fluvisols) oraz wodę rzeczną pobraną z Wisły, a następnie wykonano doświadczenie *microcosm* mające na celu symulację warunków powodziowych. Z gleb zalanych pobierano próbki do analiz oraz izolowano bakterie.

W stosunku do badań prowadzonych przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora realizacja projektu miała na celu **rozszerzenie badanej tematyki** o następujące zagadnienia:

- I. Ocena wpływu działalności człowieka na jakość mad rzecznych;
- II. Określenie, które gleby (użytkowane, czy nie) ulegają większym zmianom w wyniku wystąpienia stresu zalania;
- III. Analiza zmian w społeczności grzybów bytujących w madach rzecznych w reakcji na stres hydrologiczny;
- IV. Analiza obecności potencjalnych patogenów w wodzie rzecznej, wodzie powodziowej i glebach z terenów zalewowych;
- V. Poszukiwanie bakterii o zdolnościach adaptacyjnych, które umożliwiają im przetrwanie w warunkach stresu hydrologicznego.

Jednocześnie w kraju można było zaobserwować kolejne zdarzenia hydrologiczne, które podkreślały aktualność tematu i potrzebę badań gleb, które ulegają zalaniu.

Dodatkowym argumentem przemawiającym za zasadnością kontynuacji badań było docenienie wcześniejszych osiągnięć przez Radę Naukową IUNG-PIB [Załącznik 7.1.A], Dyrektora IUNG-PIB [Załącznik 7.1.B] oraz Polskie Towarzystwo Mikrobiologów [Załącznik 7.1.C].

4.1.3.3. Hipoteza badawcza i cel badań

W **hipotezie badawczej** założono, że nadmierna wilgotność środowiska glebowego wpływa na społeczność mikroorganizmów glebowych, w tym grzybów, a działalność człowieka oddziałuje na jakość mad rzecznych.

Głównym celem badań była ocena oddziaływania nadmiernej wilgotności środowiska na jakość i bioróżnorodność mikrobiologiczną mad rzecznych (Fluvisols).

Cel główny realizowano w oparciu o następujące cele pomocnicze:

- I. Określenie wpływu działalności człowieka na jakość środowiska glebowego mad rzecznych [I.1.1];
- II. Określenie bioróżnorodności i potencjału metabolicznego społeczności grzybów w madach rzecznych [I.1.2];
- III. Określenie wpływu symulowanej powodzi na społeczność mikroorganizmów glebowych bytujących w madach rzecznych [I.1.3; I.1.4; I.1.5; I.1.6].

Cele realizowano częściowo w ramach projektu nr 2019/35/N/NZ9/00830, a także dokładniejszych analiz wyników pochodzących z Dotacji dla młodych naukowców i badań niezależnych, do których postawy pojawiały się w trakcie prowadzenia doświadczeń.

4.1.3.4. Materiał badawczy i metody badawcze

Materiał badawczy stanowiły mady rzeczne pobrane w województwie lubelskim, które wytypowano na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 oraz próbki wody rzecznej. Szczegółowe zestawienie próbek objętych badaniami zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz próbek środowiskowych analizowanych w ramach omawianego osiągnięcia

Próbka	Lokalizacja	Rok analiz	Warunki	Publikacja
Mada średnia	Wojszyn, powiat puławski (51°20'03.4" N 21°56'43.2" E)	2018	Łąka. Doświadczenie symulowanej powodzi.	I.1.2 I.1.3 I.I.4 I.1.5 I.1.6 (dodatkowo: II.4.9 II.4.14 II.6.26-30 II.6.46 II.6.50-52 II.6.72 II.6.76 Załącznik 4)
Mada lekka	Janowiec (1), powiat puławski (51°19'29.9" N 21°55'19.2" E)	2018	Pobór próbek:	
Mada bardzo lekka	Janowiec (2), powiat puławski (51°19'14.4" N 21°54'42.9" E)	2018	• przed zalaniem; • po 7 i 14 dniach od zalania; • po 56 dniach po ustąpieniu wody.	
Woda z Wisły	Janowiec, powiat puławski (51°19'06.8"N 21°54'53.5"E)	2018	Świeża.	
Mada średnia	Wojszyn, powiat puławski (51°20'03.4" N 21°56'43.2" E)	2019	Łąka. Naturalne zalanie w wyniku wystąpienia wody z koryta rzeki.	I.I.4 (dodatkowo: II.6.57-59 II.6.71 Załącznik 4)
Mada lekka	Janowiec (1), powiat puławski (51°19'29.9" N 21°55'19.2" E)	2019	Pobór próbek:	
Mada bardzo lekka	Janowiec (2), powiat puławski (51°19'14.4" N 21°54'42.9" E)	2019	• po 1, 28 i 56 dniach od ustąpienia wody powodziowej.	
Woda z Wisły	Janowiec, powiat puławski	2019	Stagnująca nad powierzchnią gleby.	
Mada lekka	Opatkowice, powiat puławski (51°27'35.9"N 21°52'07.8"E)	2022	Gleba z łąki oraz spod uprawy porzeczki czarnej.	I.1.1 (dodatkowo: II.2.8 II.4.23
Mada średnia	Opatkowice, powiat puławski	2022	Doświadczenie symulowanej powodzi. Pobór próbek:	

	(51°27'44.9"N 21°52'14.1"E)		• przed zalaniem; • po 2, 4, 7, 9, 12, 14 dniach od zalania.	II.6.57 II.6.74 II.6.79 II.6.84-86 II.6.88 II.6.90-91 Załącznik 4)
Mada ciężka	Opatkowice, powiat puławski (51°27'37.2"N 21°52'08.6"E)	2022		
Woda z Wisły	Wólka Gołębska, powiat puławski (51°28'15.0"N 21°53'56.7"E)	2022	Świeża. Stagnująca nad powierzchnią gleby; pobór próbek po: • 2, 4, 7, 9, 12, 14 dniach od zalania.	

Doświadczenie symulowanej powodzi zostało zaprojektowane w formie tzw. *microcosm* (ang.), co w polskim tłumaczeniu można rozumieć jako *mikrokosmos*. Mikrokosmos to model ekosystemu, w którym część środowiska naturalnego (np. gleba, woda) zawierająca naturalne zbiorowiska biotyczne (np. gleba z bytującymi w niej mikroorganizmami, organizmami oraz roślinnością) jest utrzymywana w kontrolowanych warunkach środowiskowych i poddawana analizie ³⁴. Badania prowadzone w taki sposób pozwalają na bardziej dokładne ustalenie związku przyczynowo skutkowego pomiędzy wybranym parametrem, a jego wpływem na zbiorowiska organizmów, szczególnie mikroorganizmów. Laboratoryjne mikrokosmosy są stosowane w badaniach z zakresu ekologii oraz mikrobiologii środowiskowej ³⁵. W przypadku gleby, eliminuje się wpływ klimatu, zwierząt oraz działalności człowieka. Jednocześnie można obserwować działanie pojedynczego, wybranego czynnika na dane środowisko. W prezentowanym doświadczeniu analizowano wpływ symulowanej powodzi na środowisko glebowe.

Mady pobrane w formie bloków (mikro profili), a następnie umieszczone w pojemnikach zalane wodą pobraną z Wisły na wysokość 5 cm powyżej powierzchni gleby (zużyto około 12 L na jeden pojemnik). Próbkki były umieszczone w pomieszczeniu z kontrolowanymi warunkami: temperatura +24°C, fotoperiod 16 h dnia i 8 h nocy. Woda była utrzymywana na poziomie 5 cm nad powierzchnią gleby przez 2 tygodnie. Próbkki do analiz pobierano zgodnie z wykazem w Tabeli 1.

W trakcie realizacji prac zastosowano **metody oraz techniki badawcze** powszechnie używane w laboratoriach mikrobiologicznych i gleboznawczych z uwzględnieniem aktualnych rozwiązań. Próbkki glebowe poddano następującym analizom:

- analiza składu granulometrycznego;
- analiza stabilności gleb;
- określenie zawartości azotu całkowitego, węgla całkowitego, węgla organicznego i próchnicy;
- określenie zawartości wybranych pierwiastków śladowych;
- oznaczenie zawartości węgla (MBC) i azotu (MBN) w biomacie mikroorganizmów.

We wszystkich próbkach glebowych wykonano następujące pomiary:

- oznaczenie suchej masy (SM) i wilgotności (W);
- oznaczenie odczynu (pH) i przewodności elektrycznej (EC) gleby;
- oznaczenie aktywności enzymatycznej (dehydrogenaz i fosfataz);
- izolacja DNA genomowego i analiza struktury mikrobiomu i mykobiomu poprzez sekwencjonowanie następnej generacji (NGS) genu 16s rRNA i genu ITS;
- analiza różnorodności funkcjonalnej mikroorganizmów z wykorzystaniem metody EcoPlate™ oraz FFplate™ firmy Biolog®.

W próbkach wody określono natomiast:

- pH, EC;
- zawartość tlenu rozpuszczonego (DO);
- zawartość wybranych metali;
- strukturę mikrobiomu poprzez izolację DNA i sekwencjonowanie następnej generacji (NGS) genu 16s rRNA;
- różnorodność funkcjonalność mikroorganizmów z wykorzystaniem metody EcoPlate™ Biolog®.

4.1.3.5. Opis przeprowadzonych badań

I. Określenie wpływu działalności człowieka na jakość środowiska glebowego mad rzecznych

Publikacja **I.1.1** pt. „*The Influence of Human Agricultural Activities on the Quality of Selected Fluvisols from the Vistula River Valley, Poland—Preliminary Research*” jest w całości poświęcona zagadnieniu wpływu działalności człowieka na jakość mad rzecznych. Analizie poddano próbki pobrane spod uprawy porzeczek czarnej, gdzie stosowano nawożenie mineralne oraz mechaniczne metody zbioru owoców oraz z najbliższej położonej łąki (bez nawożenia i innych działań agrotechnicznych). Ocena wpływu uprawy czarnej porzeczek na aktywność biologiczną Fluvisols wyraźnie potwierdziła, że działalność człowieka wpływa na wszystkie parametry jakości gleby: fizykochemiczne, biologiczne i mikrobiologiczne. Uzyskane wyniki nie potwierdzają jednak w pełni hipotezy, że gleby użytków zielonych charakteryzują się wyższą aktywnością biologiczną i różnorodnością mikrobiologiczną w porównaniu z glebami uprawnymi. Aktywność enzymatyczna (**Figura 1A**), potencjał metaboliczny oraz różnorodność mikroorganizmów (EcoPlate™) były wyższe w wariantach użytków zielonych, ale zawartość C i N w biomasie drobnoustrojów oraz wskaźniki bioróżnorodności uzyskane z NGS były wyższe w glebach uprawnych. Może to wskazywać, że mikroorganizmy są liczniejsze i bardziej zróżnicowane taksonomicznie w glebach uprawnych, ale są bardziej aktywne w glebach użytków zielonych.

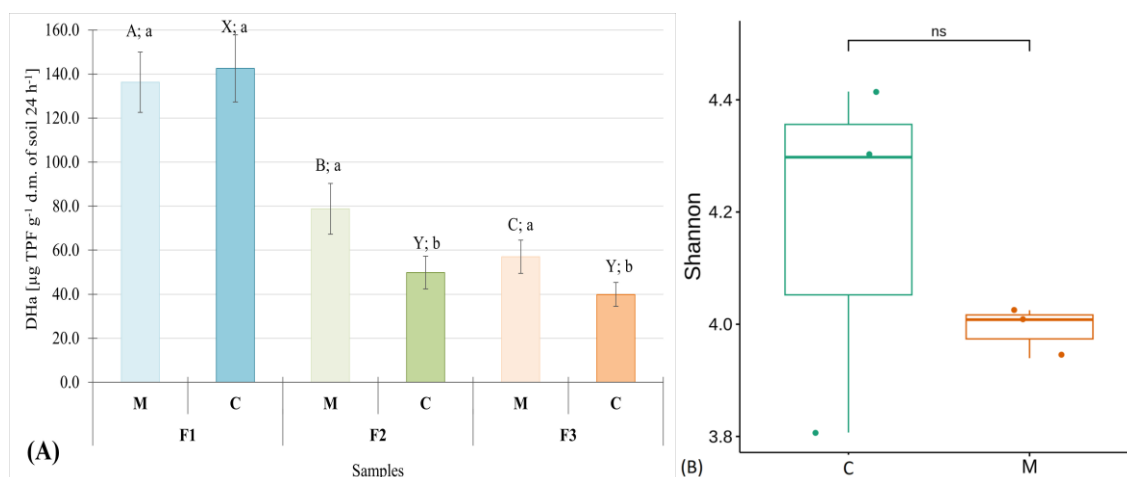


Figura 1. Właściwości badanych gleb: **A)** aktywność dehydrogenaz (DHa); **B)** indeks różnorodności Shannon'a w oparciu o wyniki z sekwencjonowania następnej generacji; M - gleba z łąki; C - gleba spod uprawy porzeczki czarnej; F1 - mada lekka; F2 - mada średnia; F3 - mada ciężka [źródło: I.1.1.]

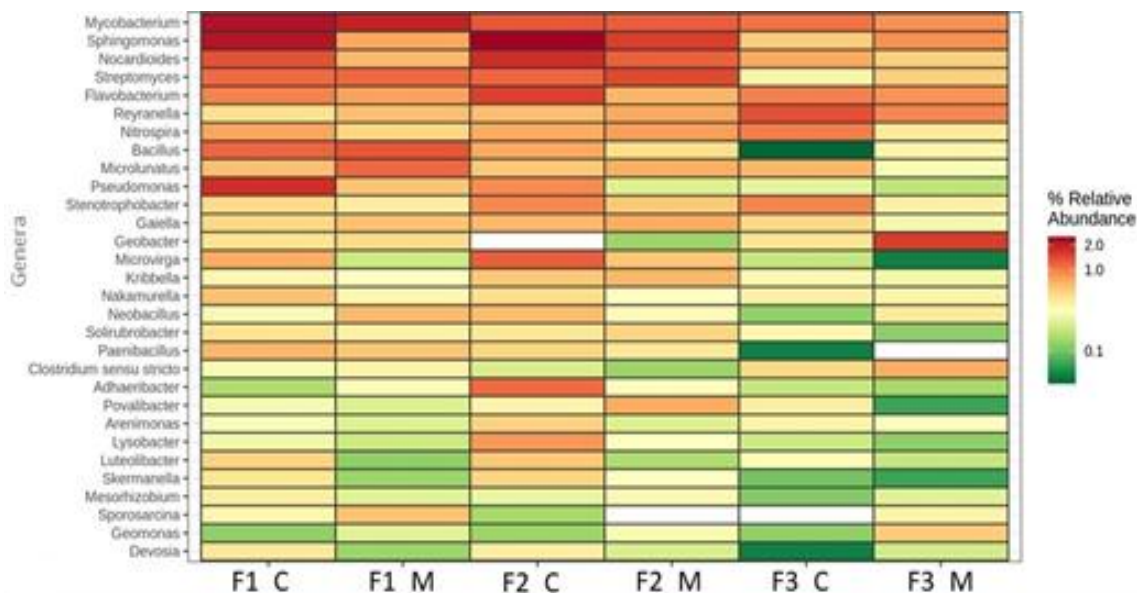


Figura 2. Porównanie struktury mikrobiomu w badanych glebach na poziomie rodzajów między wszystkimi glebami Fluvisols: M - gleba z łąki; C - gleba spod uprawy porzeczki czarnej; F1 - mada lekka; F2 - mada średnia; F3 - mada ciężka [źródło: I.1.1.]

Wyniki wykazały, że wskaźniki bioróżnorodności uzyskane z NGS były wyższe w glebach pod uprawą czarnej porzeczki w porównaniu z glebami łąkowymi (Figura 1B). Oba warianty (C i M) były zdominowane przez *Proteobacteria*, *Acidobacteria* i *Actinobacteria*, ale różnice między liczebnością tych bakterii w obu wariantach były statystycznie istotne. Analiza różnorodności bakterii na poziomie rodzaju wykazała, że wśród zidentyfikowanych taksonów dominowały *Mycobacterium*, chociaż ich rozmieszczenie różniło się między glebami (Figura 2).

Wyniki pochodzące z tego etapu badań prezentowałam m.in. w formie posteru naukowego podczas konferencji międzynarodowej: 1st International Conference Of Soil And Agriculture

2024 (ICSA): *Towards Soil Sustainability*, gdzie został on nagrodzony I miejscem w konkursie Młodych Naukowców [Załącznik 7.1.C].

II. Ocena bioróżnorodności i potencjału metabolicznego społeczności grzybów w madach rzecznych

W badaniach realizowanych w latach 2018-2019 swoją uwagę skupiałam na mikrobiomie mad rzecznych, czyli społeczności bakterii. Nie mniej ważne funkcje pełnią w glebie grzyby. Społeczność grzybów stanowi istotny element środowiska glebowego, ponieważ pełni ważne funkcje związane z dynamiką wody, obiegiem składników odżywczych i zwalczaniem chorób. Jest ważna dla rozkładu i przekształca trudny do strawienia materiał organiczny w formy dostępne dla innych organizmów ³⁶. Grzyby tworzą również symbiotyczne połączenia z roślinami i glebą, co dodatkowo wpływa na przyswajalność składników odżywczych ³⁷. Społeczność grzybów danego ekosystemu nazywana jest mykobiomem ³⁸. Brakuje natomiast danych literaturowych dotyczących mykobiomów gleb nadrzecznych. W związku z potrzebą uzupełnienia tej luki wykonałam analizę społeczności mykobiomu glebowego z wykorzystaniem sekwencjonowania następnej generacji geny ITS oraz metody FFplate™ Biolog®. Wyniki opublikowałam w publikacji 1.1.2 pt. „*Fungal biodiversity and metabolic potential of selected fluvisols from the Vistula River valley in Lubelskie, Poland*”, która stanowi pierwsze opracowanie dotyczące mykobiomu mad rzecznych w Polsce i Europie.

W ramach przeprowadzonych badań wykazałam, że we wszystkich madach dominowały grzyby z rodzajów *Ascomycota* i *Basidiomycota* (Figura 3). Grzyby mikoryzy arbuskularnej (AMF) znane z produkcji glomalin - rodzina *Glomeraceae*, gromada *Glomeromycota* ³⁹ - zostały znalezione w madzie średniej i bardzo lekkiej, ale w niewielkim odsetku, co może tłumaczyć stosunkowo niską zawartość glomaliny w tych glebach. Ważną obserwacją jest również dominacja grzybów z rodzaju *Coniochaeta* we wszystkich próbkach, co może być związane z zaangażowaniem tych grzybów w dystrybucję drewna i pozostałości roślinnych, ponieważ obecność ich zarodników w lasach jest uważana za oznakę ściółki leśnej ⁴⁰. Analiza profilu metabolicznego pozwoliła natomiast zaobserwować, że mykobiom z mady bardzo lekkiej jest najaktywniejszy metabolicznie, a w żadnej próbce nie odnotowano zdolności grzybów do wzrostu na glukuronoamidzie.

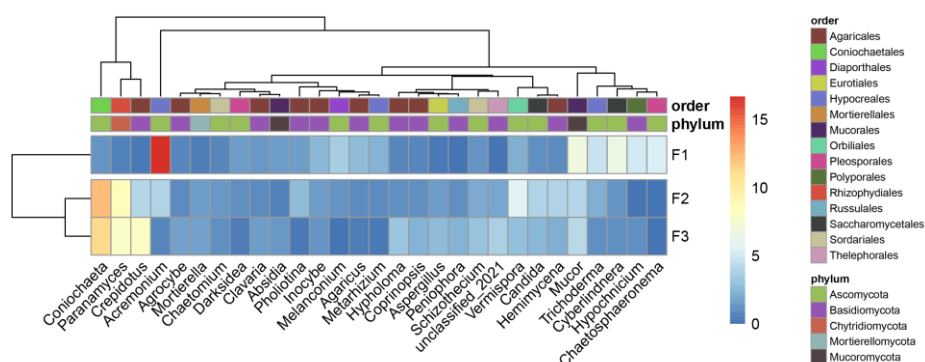


Figura 3. Mapa cieplna z hierarchicznym grupowaniem opartym na odległości Braya-Curtisa najliczniejszych rodzajów grzybów. Skala kolorów (od niebieskiego do czerwonego) reprezentuje

względna (procentowa, %) liczebność każdego rodzaju, podczas gdy kolorowe słupki (górne część wykresu) wskazują rząd i gatunek dla każdej mady zgodnie z legendą; F1 – średnia mada; F2 – lekka mada; F3 – bardzo lekka mada [źródło: I.1.2].

Podsumowując ten etap analiz, wyniki badań wykazały różnice pomiędzy strukturą mykobiomu i aktywnością metaboliczną na badanych madach. Wykazałam, że mada bardzo lekka o niskich wartościach parametrów chemicznych i biologicznych jest rezerwuarem dla większej liczby rodzajów grzybów i o wyższym potencjale metabolicznym niż mykobiomy z pozostałych gleb. Stwierdziłam, że większa różnorodność grzybów i ich zróżnicowany potencjał metaboliczny nie jest bezpośrednio powiązany z żyznością gleby, klasycznie definiowaną jako zawartość składników odżywczych.

III. Określenie wpływu symulowanej powodzi na społeczność mikroorganizmów glebowych bytujących w madach rzecznych

Zagłębiając się w temat powodzi i zdarzeń hydrologicznych oraz ich wpływu na środowisko glebowe, podjęłam się przygotowania obszernego opracowania pt. „*The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review*”, które opublikowałam w czasopiśmie CATENA – publikacja I.1.3. Praca stanowi krytyczny przegląd literatury w kontekście wilgotności gleb i zmian klimatu. Poruszana tematyka jest niezwykle istotna.

Zmiany wilgotności gleby są ważnym czynnikiem wpływającym na wzrost upraw i plony, co ma ogromne znaczenie dla globalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Wykazałam, że wiedza na temat zmian wywołanych suszeniem i zalewaniem gleb *in situ* jest wciąż ograniczona. Istnieją ku temu dwa główne powody. Pierwszym z nich jest sama złożoność środowiska glebowego. Na mikroorganizmy glebowe wpływa wiele czynników jednocześnie, z których niektóre można zmierzyć i określić, a wiele z nich jest wciąż trudnych do zrozumienia. Gleba jest złożonym środowiskiem, pełnym sieci współzależności, w którym różne elementy wchodzi ze sobą w interakcje, co znacznie utrudnia ocenę wpływu pojedynczego parametru na jakość ekosystemu. Drugi powód jest ściśle związany z trudnościami w określeniu rzeczywistego rozkładu wody w glebie i jednoczesnego określenia poziomu aktywności mikroorganizmów z jednoczesną oceną procesów biogeochemicznych. Co ważne, należy podkreślić, że praca w warunkach powodziowych wymaga ostrożności w pobieraniu próbek, ale też często brakuje punktu odniesienia, tj. próbek sprzed powodzi. W ww. pracy zaprezentowałam również fragment wyników moich badań w podrozdziale 3.2. „*Impact of flooding and associated high moisture on the soil environment*”, gdzie podkreśliłam znaczny wzrost różnorodności i liczebności bakterii w glebie w wyniku powodzi.

Kolejnym krokiem podczas realizacji badań była próba odpowiedzi na pytanie, czy modelowe doświadczenie (*microcosm*) pozwala na uzyskanie wyników zbliżonych do tych, występujących w wyniku naturalnego zdarzenia hydrologicznego. Podjęcie prac nad tym aspektem umożliwiło wystąpienie w 2019 roku naturalnego zalania gleb na terenie, z którego rok wcześniej pobrano próbki do doświadczenia (Tabela 1). Doświadczenie *microcosm* stanowiło podstawę badań prowadzonych przeze mnie w roku 2018 w ramach rozprawy doktorskiej [I.1.6;] Porównanie warunków modelowych i naturalnych opisałam w publikacji

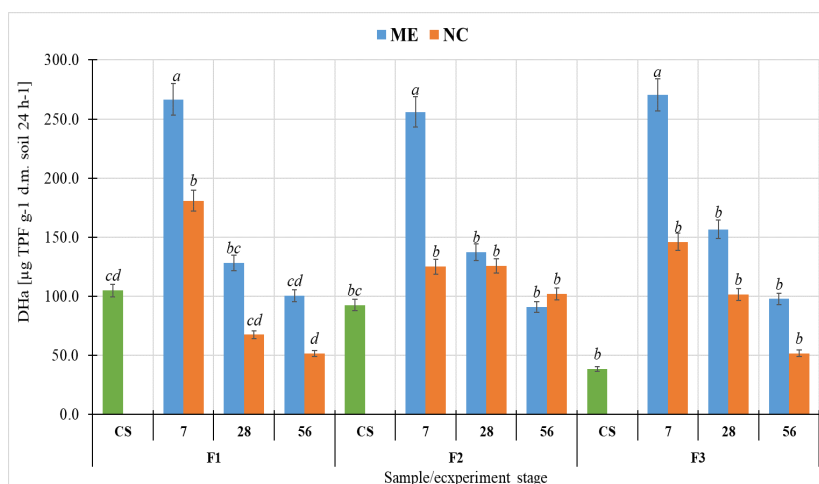
II.1.4 pt. “Can Model Experiments Give Insight into the Response of the Soil Environment to Flooding? A Comparison of Microcosm and Natural Event”.

Figura 4. Aktywność dehydrogenaz (DHa) w madach rzecznych. Różne małe litery „a-e” oznaczają istotne różnice dla tej samej próbki gleby w różnych wariantach eksperymentalnych (kontrola, symulowane zalanie, naturalne zalanie) przy $P < 0,01$ (test Tukey HSD; $n = 9$). ME – doświadczenie *microcosm*; NC – warunki naturalne; F1 – średnia mada; F2 – lekka mada; F3 - bardzo lekka mada; CS – gleba kontrolna przed zalaniem; 7, 28, 56 – dni poboru próbek po zalaniu i ustąpieniu wody [źródło: I.1.4].

Przeprowadzone analizy wykazały, że powódź zarówno w warunkach naturalnych, jak i laboratoryjnych wpływa na pH gleby, aktywność enzymatyczną (Figura 4) i potencjał metaboliczny mikroorganizmów glebowych. Zmiany tych parametrów są bardziej wyraźne w doświadczeniu w mikrokosmosie niż w warunkach polowych. Trend zmian wartości pH był taki sam w warunkach naturalnych i modelowych dla wszystkich gleb; zmiany aktywności dehydrogenazy były takie same dla średniej i lekkiej mady; aktywności fosfataz były różne. Potencjał aktywności metabolicznej (AWCD) miał taki sam trend w obu wariantach, tylko w madzie średniej. Suszenie miało różny wpływ na parametry w warunkach naturalnych i laboratoryjnych. W zależności od gleby (jej rodzaju, struktury, roślinności), niektóre parametry miały tendencję powrotu do stanu sprzed warunków stresowych.

Chociaż odnotowano różnice między wynikami uzyskanymi z eksperymentu w mikrokosmosie, a warunkami naturalnymi, uważam, że istnieje potrzeba prowadzenia badań modelowych. W przypadku analizy wpływu powodzi na aktywność biologiczną gleb, pozwalają one uzyskać informacje na temat zmian w podstawowych procesach i prześledzić ogólne trendy. Ponadto naukowcy nie są w stanie zaplanować i przeprowadzić kompleksowych badań dotyczących powodzi w warunkach naturalnych, ponieważ ekstremalne zdarzenie powodziowe jest trudne do przewidzenia, a oszacowanie obszaru, na którym wystąpi, w celu wcześniejszego pozyskania próbek kontrolnych (przed powodzią) jest rzadko możliwe. „Mikrokosmosy powodziowe” pozwalają na obserwację środowiska glebowego w warunkach stresu wodnego, co jest ważne z punktu widzenia zmian klimatycznych i rosnącej częstotliwości zdarzeń hydrologicznych na całym świecie.

Drugi etap badań dotyczył analizy wpływu symulowanej powodzi na społeczność grzybów w madach rzecznych. Wpływ nadmiernej wilgoci na mikrobiom i mykobiom gleby nie jest do końca poznany. Wykonane analizy potwierdziły nieliczne doniesienia wskazujące, że zalanie powoduje znaczącą restrukturyzację mykobiomu glebowego. Przedstawiciele typu *Basidiomycota* stanowili najliczniej występującą grupę we wszystkich glebach, a ich obecność wzrosła w wyniku zalania we wszystkich madach (Figura 5). Drugim pod względem liczebności typem był *Ascomycota*, którego liczebność zmniejszyła się w wyniku zalania we wszystkich próbkach.

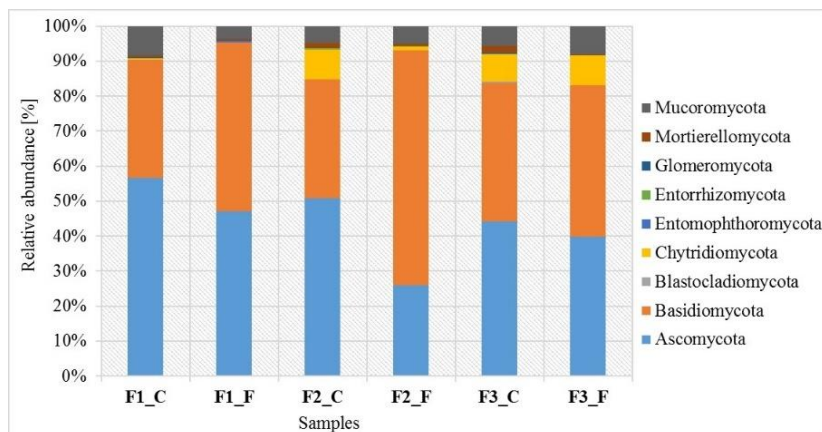


Figura 5. Wpływ symulowanej powodzi na względną liczebność (%) grzybów na poziomie typu w wybranych madach rzecznych. F1 – średnia mada; F2 – lekka mada; F3 - bardzo lekka mada; C – gleba świeża; F – gleba zalana (14 dni) [źródło: I.1.5]

Wykazałam również, że spośród wszystkich zidentyfikowanych grzybów, przedstawiciele 3 rodzajów można uznać za wskaźniki nadmiernej wilgotności gleby: *Rhizoctonia*, *Entyloma* i *Darksidea*. Przedstawiciele tych rodzajów występowali tylko w świeżych, naturalnych glebach Fluvisols, natomiast zniknęli po zalaniu we wszystkich badanych glebach. Z kolei ponad 20 rodzajów, w tym *Acremonium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Inocybe*, *Entoloma*, *Clavaria*, *Cortinarius* i inne, można wymienić jako specyficzne rdzenne grzyby mad z dorzecza Wisły, które były obecne we wszystkich glebach w obu wariantach. Stwierdzono również, że nadmierna wilgotność może przyczyniać się do obecności grzybów patogenicznych w glebie, np. *Alternaria*, *Fusarium*. Uzyskane wyniki zostały szczegółowo omówione w publikacji I.1.5 pt. „*Fungal community change in selected fluvisols under simulated flooding condition*”. Najważniejszy wniosek z przeprowadzonych prac brzmi: warunki symulowanej powodzi spowodowały spadek różnorodności na poziomie rodzaju w mykobiomie, co może wpływać na funkcjonowanie środowiska.

Uzupełnieniem badań dotyczących mikroorganizmów glebowych w warunkach powodzi stanowi publikacja I.1.6 pt. „*Prevalence of unclassified bacteria in the soil bacterial community from floodplain meadows (fluvisols) under simulated flood conditions revealed by a metataxonomic approach*”, w której omówiłam wpływ zalania na społeczność bakterii. Mimo że praca została opublikowana w roku 2020 przed uzyskaniem przeze mnie tytułu naukowego doktora to jej tematyka jest dalej aktualna, a wyniki znaczące dla dziedziny oraz kolejnych badań. W oparciu o wyniki z doświadczenia microcosm, stwierdziłam, że ekstremalne warunki

spowodowane symulowaną powodzią mają znaczący wpływ na mikroorganizmy glebowe. Wykazałam, że w glebach zalanych wodą jest zwiększona aktywność metaboliczna oraz różnorodność strukturalna mikrobiomu glebowego. W wyniku nadmiernej wilgotności zmieniają się nie tylko proporcje poszczególnych bakterii, ale także pojawiają się w glebie nowe gatunki, zarówno te wprowadzane przez wodę, jak i wybudzane z form nieaktywnych, a niektóre grupy mikroorganizmów zanikają. Wykazałam między innymi proliferację *Anaeromyxobacter* sp. i *Malikia* sp., które nie były obecne w glebie przed powodzią ani w wodzie wykorzystanej do symulacji powodzi. Podejście zastosowane do obróbki danych pochodzących z sekwencjonowania pozwoliło na obserwację znacznie szerszego spektrum zmian niż w badaniach niż w dotychczas dostępnych badaniach na ten temat. Przedstawione w publikacji wyniki stanowią zaledwie fragment danych. Przypuszczałam, że wyniki będą zawierały dużą liczbę niesklasyfikowanych bakterii, ale uzyskane rezultaty (ponad 90% w każdej analizowanej próbki) przerosły moje oczekiwania. Jednocześnie potwierdziło to powtarzaną tezę, że w świecie bakterii glebowych kryje się wiele niewiadomych. Pomimo intensywnego postępu nowoczesnych metod badawczych, liczba znanych mikroorganizmów waha się od 0,1 do 1% ⁴¹, a najmniej poznaną grupą mikroorganizmów są właśnie te, które występują w glebie. Bakterie, choć niezidentyfikowane do rodzaju, stanowią tak wysoki procent próbki gleby, że z pewnością mają wpływ na jej funkcjonowanie i stabilność. Stanowi to wyzwanie dla badaczy, aby nie ignorować niesklasyfikowanych sekwencji w badaniach nad różnorodnością strukturalną próbek glebowych, ponieważ ich obfitość i różnorodność są ważnym składnikiem ekosystemu.

4.1.3.6. Podsumowanie i wykorzystanie wyników

Realizacja projektu nr 2019/35/N/NZ9/00830 oraz kontynuacja badań rozpoczętych w ramach przygotowywania rozprawy doktorskiej pozwoliły uzyskać nowe informacje w stosunku do dotychczasowej wiedzy w zakresie mikrobiologii gleb terenów zalewowych. Wyniki badań rozwijają dyscyplinę rolnictwo i ogrodnictwo, ale także dyscyplinę nauk biologicznych/o Ziemi i środowisku z ukierunkowaniem na mikrobiologię środowiska.

Opisane osiągnięcie uzupełnia dotychczasowe braki w wiedzy z zakresu mikrobiologii terenów zalewowych i wpływu powodzi na ich jakość, co jest niezwykle istotne w kontekście użytkowania rolniczego. W literaturze światowej brakuje prac dotyczących wpływu powodzi na środowisko glebowe. Wiele prac dotyczy efektów „po powodzi”, jednakże nie dysponuje danymi sprzed wystąpienia zalania. Choć doświadczenia modelowe są obarczone ryzykiem niepowodzenia i niepowtarzalności, to jednak przeprowadzenie takich badań jest istotne, by potem móc je odnieść do stanu naturalnego.

Dotychczas opublikowane i prezentowane na konferencjach wyniki stanowią również uzupełnienie wiedzy z zakresu wpływu działalności rolniczej człowieka na jakość środowiska glebowego. Bardzo ważną i wartą dalszej analizy obserwacją jest fakt, że gleby rolnicze w warunkach stresu nie ulegały większej utracie żyzności w warunkach stresu niż gleby łukowe (dane jeszcze nieopublikowane – manuskrypt w trakcie recenzji w czasopiśmie *Soil and Tillage Research*).

Ponadto uzyskane wyniki podkreślają konieczność uwzględniania niesklasyfikowanych sekwencji w analizach różnorodności strukturalnej mikrobiomów glebowych. Jest to wniosek bardzo cenny dla badaczy analizujących wyniki uzyskane z sekwencjonowania.

Wyniki dotyczące zmian w mikrobiomie i mykobiomie gleb o potencjalnym rolniczym zastosowaniu mogą stanowić wskazówkę dla rolników oraz decydentów w obliczu zdarzeń hydrologicznych występujących coraz częściej w naszym kraju. Ostatnie wydarzenia w województwie dolnośląskim i opolskim (2024 r.) uwydatniły braki w wiedzy dotyczącej wpływu powodzi na mikrobiologiczne parametry gleby. Uzyskane przeze mnie wyniki badań stanowiły podstawę do opracowania opinii eksperckiej pt. „*Właściwości mikrobiologiczne gleb uprawnych po powodzi*” zamieszczonej w: „*Zalecenia popowodziowe na grunty orne dla rolników 2024 rok*”, które wraz z współpracownikami IUNG-PIB przygotowałam na zlecenie MRiRW [Załącznik 7.2].

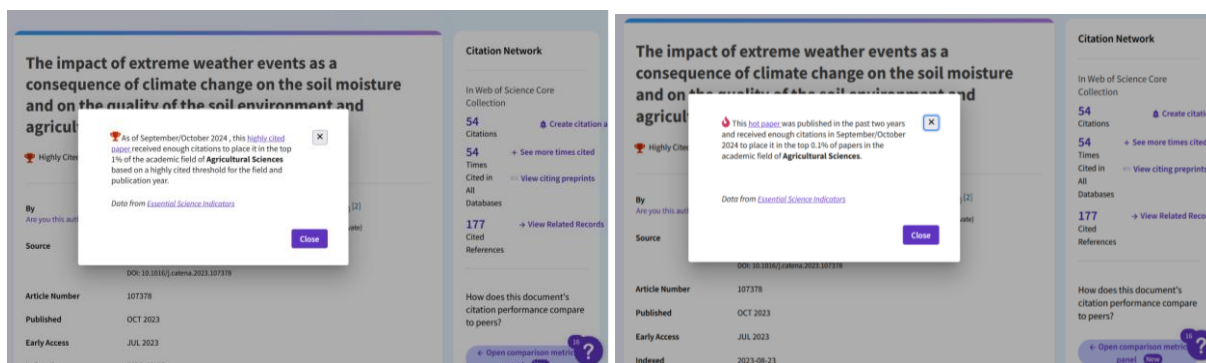


Figura 6. Publikacja I.1.3 wśród 1% najlepszych publikacji w dziedzinie nauk rolniczych w oparciu o próg wysokiej liczby cytowań dla dziedziny i roku publikacji [źródło: Web of Science™]

Osiągnięcie naukowe to przede wszystkim prace badawcze, jednak za istotne uważam podkreślenie wpływu pracy przeglądowej na społeczność naukową. Publikacja I.1.3 pt. “*The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review*” ukazała się w październiku 2023 roku i do dnia 18.01.2025 była cytowana 54 razy wg bazy Web of Science oraz 72 wg bazy Scopus. Ponadto, otrzymała wyróżnienie “Highly Cited Paper” w sierpniu oraz wrześniu i październiku 2024 od Web of Science (Figura 6).

Reasumując, choć w publikacjach podkreślam potrzebę kontynuacji badań i udoskonalania metod analitycznych w pracy z glebami popowodziowymi, to dotychczas uzyskane wyniki oraz wnioski uważam za znaczące osiągnięcie o dużym wpływie na dziedzinę.

4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy**4.2.1. Tytuł osiągnięcia**

Wyizolowanie, scharakteryzowanie oraz zdeponowanie w depozycie patentowym Polskiej Kolekcji Mikroorganizmów dziesięciu szczepów bakterii glebowych o potencjale agrobiotechnologicznym.

4.2.2. Zakres osiągnięcia

W ramach realizacji projektu nr 2019/35/N/NZ9/00830 wyizolowano z gleby poddanej warunkom symulowanej powodzi bakterie i określono wstępnie ich potencjał biotechnologiczny. Kolekcja bakterii obejmuje ponad 80 szczepów. Do postępowań aplikacyjnych wybrano 10 najefektywniejszych mikroorganizmów o potencjale agrobiotechnologicznym. Wybrane szczepy zostały zdeponowane przeze mnie w **depozycie patentowym Polskiej Kolekcji Mikroorganizmów (PCM)**. Krok ten zapewnia możliwość wykorzystania tych bakterii w preparatach, które docelowo mają zostać zgłoszone do ochrony patentowej. Dokumenty potwierdzające utworzenie depozytu patentowego znajdują się w części 6.1 Załącznika 6. Prawa do depozytu potwierdza oświadczenie Dyrektora IUNG-PIB [pkt 6.2, Załącznik 6].

W skład osiągnięcia wchodzi następujące szczepy bakterii:

Numer akcesyjny PCM	Rodzaj	Charakterystyka
B/00537	<i>Rhodococcus</i>	Aktywność ureazy, esterazy, β -galaktozydazy, dihydrolazy argininy, dezaminazy tryptofanu i acetoiny; <i>solubilizacja</i> fosforu
B/00538	<i>Kocuria</i>	Aktywność ureazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny i żelatynazy; produkcja osmoprotektantów, egzopolimerów, kwasu indolilo-3-octowego; odporność na szok termiczny; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00539	<i>Peribacillus</i>	Aktywność ureazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny i żelatynazy; redukcja azotanów; <i>solubilizacja</i> potasu; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00540	<i>Priestia</i>	Aktywność ureazy, β -galaktozydazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny i żelatynazy; produkcja kwasu indolilo-3-octowego; <i>solubilizacja</i> fosforu i potasu; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00541	<i>Bacillus</i>	Aktywność esterazy, dezaminazy tryptofanu, żelatynazy; zdolność do fermentacji/utleniania mannitolu; redukcja azotanów; produkcja egzopolimerów; odporność na szok termiczny; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00542	<i>Priestia</i>	Aktywność esterazy, β -galaktozydazy, dezaminazy tryptofanu, żelatynazy; produkcja egzopolimerów; odporność na szok termiczny; tolerancja na wysokie zasolenie

B/00543	<i>Bacillus</i>	Aktywność ureazy, esterazy, β -galaktozydazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny i żelatynazy; produkcja kwasu indolilo-3-octowego; <i>solubilizacja</i> fosforu i potasu; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00544	<i>Bacillus</i>	Aktywność ureazy, esterazy, dezaminazy tryptofanu, żelatynazy; produkcja kwasu indolilo-3-octowego; odporność na szok termiczny; tolerancja na wysokie zasolenie
B/00545	<i>Bacillus</i>	Aktywność β -galaktozydazy, dihydrolazy argininy, ureazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny, żelatynazy; zdolność do fermentacji/utleniania mannitolu; produkcja egzopolimerów; <i>solubilizacja</i> fosforu
B/00546	<i>Staphylococcus</i>	Aktywność β -galaktozydazy, dezaminazy tryptofanu, acetoiny, żelatynazy; produkcja egzopolimerów; <i>solubilizacja</i> fosforu; odporność na szok termiczny; tolerancja na wysokie zasolenie; mezoaerobowość

4.2.3. Hipoteza badawcza i cel projektu

Celem projektu nr 2019/35/N/NZ9/00830 było poszukiwanie bakterii odpornych na stres hydrologiczny.

Hipoteza badawcza zakładała, że wśród autochtonicznych bakterii glebowych występują bakterie przystosowujące się do zmian wilgotności gleby, w tym do jej skrajnych wartości, a bakterie te mogą mieć potencjał aplikacyjny.

4.2.4. Materiały badawcze i metody badawcze

Z gleb poddanych stresowi hydrologicznemu w modelowym doświadczeniu microcosm, które zostało opisane w osiągnięciu I (**pkt 4.1**) klasycznymi metodami mikrobiologicznymi w oparciu o serie dziesiętnych rozcieńczeń, hodowle i pasażę na uniwersalnych podłożach mikrobiologicznych wyizolowano ponad 80 szczepów bakterii o różnej morfologii.

Wybrano szczepy pochodzące z gleb po najdłuższym okresie zalania, tj. 9, 12 i 14 dni, a następnie poddano wstępnym testom w celu określenia ich właściwości:

- Wykonano posiewy na podłożach selektywnych (m.in., kopiotrofy, oligotrofy, bakterie kwaszące, amonifikacyjne, solubizujące fosforany);
- Oceniono zdolność do produkcji osmoprotektantów;
- Oceniono zdolność do produkcji egzopolimerów;
- Określono odporność na szok termiczny (+4° C; +70°C);
- Określono odporność na zasolenie (wobec NaCl);
- Oceniono potencjał metaboliczny szczepów w oparciu o analizę GENIII™ Biolog®;
- Wyizolowano DNA bakteryjne i wykonano sekwencjonowanie typu Sanger w celu wstępnej klasyfikacji taksonomicznej szczepów.

Bakterie o największej liczbie pozytywnych wyników zostały wykorzystane w pilotażowym doświadczeniu z pszenicą jarą. Celem badania było określenie czy wybrane bakterie mają

zdolność do promowania wzrostu roślin oraz ochrony roślin w warunkach stresu solnego. Na podłożu Hoaglanda wysiano po 10 nasion pszenicy jarej, na które naniesiono powierzchniowo po 20 μ L płynnej 48-godzinnej hodowli bakterii. Warunki stresowe zostały zasymulowane poprzez dodanie do podłoża 14% NaCl. Doświadczenie prowadzono przez 17 dni w warunkach kontrolowanych - fitotronowych.

4.2.5. Opis uzyskanych wyników

Testy bakterii wykazały, że niektóre szczepy posiadają zdolność do amonifikacji, solubiacji fosforu, aktywności ureazy, żelatynazy i esterazy, produkcji fitohormonów, osmoprotektantów oraz egzopolimerów (Tabela 2). Klasyfikacja taksonomiczna pozwoliła na przypisanie szczepów do takich rodzajów, jak *Kocuria*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Priestia*, *Rhodococcus*.

Tabela 2. Przykładowe właściwości wybranych bakterii

Nr szczepu	B/00538	B/00542	F2/A/12	B/00541	B/00546
Sanger	<i>Kocuria</i> sp.	<i>Priestia</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.
Kopiotrofia	+	+	+	+	+
Oligotrofia	+	+	+	+	+
Amonifikacja	+	+	+	+	-
Solubizacja P	-	-	+	-	+
Osmoprotektanty	+	+	+	-	+
EPS	+	+	+	-	+
+4°C	+	-	-	-	+
+70°C	+	-	+	-	+
NaCl	+	-	+	+	+
Liczba pozytywnych	8	5	8	4	8

W doświadczeniu z pszenicą jarą odnotowano, że w przypadku szczepu B/00546 sucha masa roślin w warunkach optymalnych była aż o 41,93% wyższa w porównaniu do kontroli, a w warunkach zasolenia o 19,23% wyższa od wartości kontrolnych. W warunkach optymalnych odnotowano również pozytywny wpływ bakterii na średnią długość pędu pszenicy, a w dwóch przypadkach również na średnią długość korzenia.

4.2.6. Podsumowanie i wykorzystanie wyników

Badania wykazały, że wyizolowane bakterie posiadają właściwości umożliwiające im przetrwanie w warunkach stresu osmotycznego (stres termiczny, wodny i solny), a więc posiadają pewne mechanizmy osmoprotekcyjne. Dodatkowo, stwierdzono ich pozytywny wpływ na pszenicę jarą (sucha masa, długość pędów) w pilotażowym doświadczeniu.

Uzyskane wyniki umożliwiły aplikowanie o projekt pt. „Opracowanie innowacyjnego preparatu mikrobiologicznego o charakterze osmoprotekcyjnym do wspomagania oraz ochrony roślin uprawnych w warunkach stresu osmotycznego wywołanego zmienną wilgotnością gleby

i zasoleniem, OSMO-PROTECT” (nr Lider14/0250/2023), który został złożony w ramach konkursu Lider XIV NCBR [Załącznik 7.3] i otrzymał finansowanie znajdując się na 3 miejscu listy rankingowej. Sukces ten podkreśla trafność podjętej tematyki badawczej, która wpisuje się w aktualne potrzeby zarówno rolnictwa, jak i ochrony środowiska, natomiast potencjał agrobiotechnologiczny uzyskanych bakterii zostanie przeze mnie teraz wykorzystany do praktycznego wsparcia rolnictwa. Głównym celem projektu jest opracowanie innowacyjnego biopreparatu ukierunkowanego na przeciwdziałanie skutkom stresu osmotycznego występującego w środowisku glebowym, jako następstwo zmian klimatu i działalności człowieka. Projekt jest realizowany od stycznia 2024.

Depozyt patentowy stanowi podstawę do wykorzystania wskazanych bakterii w opracowywanych biopreparatach, które docelowo mają zostać zgłoszone do ochrony patentowej. Opisane osiągnięcie wpływa na rozwój agrobiotechnologii oraz ma znaczenie dla rolnictwa.

Ze względu na charakter wdrożeniowy osiągnięcia dane nie zostały dotychczas opublikowane. Wybrane wyniki zostały przedstawione na konferencjach naukowych oraz w materiałach konferencyjnych Warsztatów naukowych pt. *Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska* [Załącznik 7.4.A] oraz V Ogólnopolskiej Przyrodniczej Konferencji Naukowej „*Mater naturae*” – *osiągnięcia, wyzwania i problemy nauk przyrodniczych* [Załącznik 7.4.B].

4.3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

Obok głównego nurtu moich badań związanego z madami rzecznyymi i zagadnieniem powodzi realizowałam również prace w innej tematyce. Poniżej zamieszczam informacje o pozostałych poszczególnych osiągnięciach, które na chwilę obecną są **potwierdzone publikacjami naukowymi**.

I. Ocena bioróżnorodności funkcjonalnej społeczności mikroorganizmów glebowych z wykorzystaniem metody Biolog® w różnych glebach

Od roku 2017 w swojej pracy podejmowałam się analizy społeczności mikroorganizmów pochodzących z różnych gleb ze szczególnym uwzględnieniem metody EcoPlate™ Biolog®. Jest to metoda, która wykorzystuje zdolność mikroorganizmów do rozkładu różnych źródeł węgla i jest nazywana *Community Level Physiological Profiling* (CLPP). Metoda ta pozwala na uzyskanie danych odzwierciedlających metaboliczną charakterystykę konsorcjów mikroorganizmów bytujących w danym środowisku. W roku 2017 opublikowałam rozdział przeglądowy w monografii poświęcony tej metodzie [II.2.5, Tabela II.2, Załącznik 4].

Metodę EcoPlate™ z powodzeniem zastosowałam przy ocenie gleb z różnych systemów uprawy, gdzie wykazałam, że społeczności mikroorganizmów były bardziej zróżnicowane w glebach, gdzie stosowano zredukowane techniki uprawy, ale wyższą aktywność metaboliczną wykazywały w glebach spod konwencjonalnych technik uprawy. Jednocześnie stwierdziłam, że mikroorganizmy w glebie pod uprawą kukurydzy i pszenicy ozimej nie różnią się zbyt wiele pod względem funkcjonalności. Wyniki te omówiłam w publikacji pt. “*Effects of*

maize and winter wheat grown in different cultivation techniques on biological activity of soil” [II.4.3, Tabela II.4, Załącznik 4].

Oznaczenia różnorodności funkcjonalnej mikroorganizmów towarzyszyły mi również podczas realizacji badań w ramach rozprawy doktorskiej, gdzie wykazałam, że społeczność drobnoustrojów w warunkach stresu hydrologicznego cechuje się wyższą aktywnością i różnorodnością metaboliczną w porównaniu do gleb kontrolnych [I.1.6]. Ponadto wykazałam, że mady rzeczne (badania z 2018 r.) różnią się między sobą potencjałem metabolicznym mikroorganizmów, przy czym najwyższe wartości i aktywności bakterii uzyskano w madzie bardzo lekkiej – ubogiej w składniki pokarmowe. Wyniki te zostały przeze mnie szczegółowo omówione w publikacji pt. „*Analysis of Soil Properties, Bacterial Community Composition, and Metabolic Diversity in Fluvisols of a Floodplain Area*” [II.4.9, Tabela II.4, Załącznik 4]. Analizy wykazały, że indeksy różnorodności uzyskane metodą EcoPlate™ korelują z wynikami pochodzącymi z sekwencjonowania następnej generacji.

Kolejnym obszarem, gdzie wykorzystałam tę metodę było porównanie różnorodności społeczności mikroorganizmów w sąsiadujących ze sobą ekosystemach leśnych i rolniczych. Wykazaliśmy, że gleby pobrane z granicy i z pola charakteryzowały się znacznie wyższymi wartościami wskaźników bioróżnorodności w porównaniu do gleb leśnych. Opis tych prac i zestawienie wyników znajdują się w rozdziale pt. „*Functional microbial diversity in the study of soils of various ecosystems*” [II.2.7, Tabela II.2, Załącznik 4].

Podsumowując, wykorzystując w swoich badaniach metodę EcoPlate™ Biolog® wykazałam, że jest to metoda czuła i pozwalająca monitorować zmiany zachodzące w społeczności mikroorganizmów w zmiennych warunkach środowiska.

II. Ocena wpływu wybranych egzogennych osmoprotektantów na jakość środowiska glebowego oraz wzrost i plonowanie pszenicy jarej w warunkach stresowych

W ramach realizacji tematu statutowego 1.14 pt. „*Ocena wpływu wybranych osmoprotektantów na środowisko glebowe i wzrost pszenicy jarej*” [II.13.9, Tabela II.13, Załącznik 4] określłam wpływ dodatku egzogennych osmoprotektantów na biologiczne parametry środowiska glebowego oraz wzrost i plonowanie pszenicy jarej w warunkach stresowych. Celem projektu jest określenie, czy dodatek ektoiny, inozytolu lub betainy może wspomóc mikroorganizmy i rośliny w obliczu zmiennej wilgotności gleby. Hipoteza badawcza zakłada, że zastosowanie osmoprotektantów wspomogło środowisko glebowe w warunkach stresu hydrologicznego tj. ochroni mikrobiom. Ponadto, postuluję, że dodatek osmoprotektantu do gleby wspomogło wzrost pszenicy jarej w warunkach stresu hydrologicznego.

Badania te są w trakcie realizacji, jednak udało się już odnotować istotne obserwacje, których wyniki prezentowałam na konferencjach naukowych oraz w materiałach konferencyjnych:

- (1) „*The impact of the addition of selected osmoprotectants on the enzymatic activity in soil environment during different moisture condition*” – poster prezentowany podczas 14th International Conference on Agrophysics;
- (2) „*Wpływ dodatku wybranych egzogennych osmoprotektantów na aktywność mikrobiologiczną gleby w różnych warunkach wilgotności*” – referat wygłoszony podczas VI Konferencji Naukowej „*Bioróżnorodność środowiska glebowego*”;

- (3) „Wpływ wybranych osmoprotektantów na potencjał metaboliczny mikroorganizmów glebowych” – poster zaprezentowany podczas 55 Jubileuszowej Konferencji Mikrobiologicznej: *Mikrobiologia w badaniach środowiskowych - rys historyczny i perspektywy na przyszłość*.

Modelowe doświadczenie pilotażowe przeprowadziłam w częściowo kontrolowanych warunkach na hali wegetacyjnej IUNG-PIB z dodatkiem trzech egzogennych osmoprotektantów, tj. ektoiny, betainy oraz inozytolu. Warunki obejmowały różne poziomy uwilgotnienia gleby: 20, 40, 60, 80, 100 i powyżej 100% połowej pojemności wodnej. Analizie poddałam świeże gleby oraz próbki glebowe pobrane po 7, 21, 35 i 63 od wprowadzenia stresu hydrologicznego.

Wykazałam, że dodatek inozytolu i betainy powodował wzrost aktywności dehydrogenaz i fosfatazy kwaśnej w glebie 7 i 21 dni po wprowadzeniu warunków stresowych (susza i powódź) oraz w warunkach optymalnych (60% połowej pojemności wodnej) w porównaniu do kontroli bez żadnych dodatków [1, 3]. Również w przypadku analizy różnorodności funkcjonalnej mikroorganizmów stwierdziłam, że w próbkach z dodatkiem osmoprotektantów odnotowano wyższe wartości indeksów AWCD, różnorodności Shannon’a oraz bogactwa w stosunku do kontroli bez dodatków, z czego najwyższe wskaźniki uzyskałam w wariancie z dodatkiem inozytolu [2, 3].

Uzyskane przeze mnie wyniki sugerują, że dostępne na rynku osmoprotektanty wpływają na aktywność enzymatyczną i metabolizm mikroorganizmów w warunkach stresu hydrologicznego. Co więcej, dodatek inozytolu oraz betainy wpływa na aktywność enzymatyczną środowiska glebowego działając stymulująco na mikrobiom glebowy.

Publikacja dotycząca powyższych zagadnień jest obecnie w recenzji w czasopiśmie *Polish Journal of Agronomy*.

III. Ocena występowania potencjalnych patogenów bakteryjnych w glebach położonych na terenach zalewowych rzeki Wisły w województwie lubelskim

Gleby stanowiące przedmiot badań w projekcie nr 2019/35/N/NZ9/00830 zostały również przeanalizowane przeze mnie w kontekście obecności patogenów i metali ciężkich. Wyniki wykazały, że jony ołowiu, chromu i niklu były obecne we wszystkich trzech madach wykorzystywanych do celów rolniczych. We wszystkich madach odnotowano obecność bakterii z rodzaju *Clostridium*; w madzie lekkiej i średniej odnotowano obecność *Legionella* sp.; zaś w madzie lekkiej i ciężkiej byli również obecni przedstawiciele bakterii z rodzaju *Aquicella* Tabela 3.

Tabela 3. Względna liczebność [%] potencjalnych patogenów w badanych glebach

Typ	Klasa	Rząd	Rodzina	Rodzaj	F1-L	F1-P	F2-L	F2-P	F3-L	F3-P
Chlamydiae	Chlamydiia	Chlamydiales	ns.	ns.	0.04	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Chlamydiae	Chlamydiia	Chlamydiales	Parachlamydiaceae	ns.	0.14	0.06	0.00	0.04	0.08	0.05
Firmicutes	Clostridia	Clostridiales	Clostridiaceae	<i>Clostridium sensu stricto</i>	0.38	0.29	0.13	0.21	0.73	0.51
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Legionellales	Coxiellaceae	<i>Aquicella</i>	0.03	0.11	0.00	0.00	0.05	0.00
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Legionellales	Legionellaceae	<i>Legionella</i>	0.02	0.07	0.11	0.11	0.00	0.00

ns. – niesklasyfikowane na danym poziomie taksonomicznym; Ł – gleba z łąki; P – gleba spod uprawy porzeczki czarnej; F1 - mada lekka; F2 - mada średnia; F3 - mada ciężka.

Publikacja dotycząca tego zagadnienia jest obecnie procedowana w czasopiśmie *Water, Air, & Soil Pollution*. Natomiast wyniki były dotychczas prezentowane na konferencjach naukowych oraz zostały zamieszczone w materiałach konferencyjnych:

- (1) „Potencjalne patogeny ludzkie na terenach zalewowych Wisły w województwie lubelskim” – poster prezentowany podczas Konferencji Naukowej *Bioróżnorodność środowiska glebowego – wskaźniki oceny*;
- (2) „Czy symulowana powódź powoduje wzrost bakterii patogennych w zalanych glebach?” - poster zaprezentowany podczas XXIX Ogólnopolskiego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów;
- (3) „Zagrożenie mikrobiologiczne na terenach zalewowych w dolinie Wisły – referat wygłoszony w ramach VIII Ogólnopolskiej Mikrobiologicznej Konferencji Naukowej MICROBS [Załącznik 7.4.C].

Dane te są niezwykle istotne, ponieważ gleby te są użytkowane rolniczo, więc może dochodzić do transferu tych patogenów na plony zbierane w tym obszarze oraz pracujących tam rolników.

IV. Analiza mikrobiomu wody rzecznej na przykładzie rzeki Wisły przepływającej przez obszar Natura 2000 oraz wody powodziowej

Badania dotyczące wody rzecznej rozpoczęły się od poszukiwania odpowiedniej metody do izolacji DNA ze środowiska wodnego. Przeprowadzone testy wykazały, że *Pseudomonas* spp. był dominującym rodzajem bakterii we wszystkich próbkach wody, ale jego względna liczebność różniła się w zależności od sposobu przygotowania próbki. Stwierdziłam, że zarówno objętość użytej wody, jak i ostateczny materiał użyty do izolacji mają wpływ na wyniki sekwencjonowania. Możliwe, że na mikrobiom rzeczny składają się wszystkie bakterie pozyskane określonymi metodami, a wykorzystanie do izolacji tylko jednej z metod przygotowania próbki może uniemożliwić pełne poznanie mikrobiomu rzecznej. Zagadnienie to jest niezwykle istotne i wskazuje na luki w obszarze metodologii izolacji DNA. Szczegółowy opis powyższych rozważań znajduje się w publikacji pt. „Pre-isolation procedures matter – Comparison of different filtration methods prior to DNA isolation in river microbiome analysis” [II.4.23, Tabela II.4, Załącznik 4].

Wyniki badań dotyczące izolacji DNA z próbek wody wnoszą istotny wkład w ekologię i mikrobiologię środowiska. Zastosowane w projekcie podejście wykazało, jak wiele metod nie jest dopracowanych oraz potwierdziło, że stosując różne, niewystandaryzowane metody obróbki próbek uzyskuje się zróżnicowane wyniki, co utrudnia, a nawet uniemożliwia dyskusję między danymi otrzymywanych przez innych badaczy.

Dodatkowo, sprawdziłam, czy woda pobierana z nad zalanej gleby może być wykorzystywana ponownie w rolnictwie. Uzyskane wyniki wskazują, że woda popowodziowa, nawet nie mając styczności z miejscami będącymi źródłami patogenów (tj. wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków, kanalizacją etc.), może być zanieczyszczona potencjalnymi patogenami, pochodzącymi z gleby. Wykazałam bowiem, że w wodzie pobranej z nad gleby nawet po 14 dniach od zalania były obecne bakterie z rodzaju *Legionella* i *Aquicella*. Natomiast we

wcześniejszych dniach w wodzie były wykrywane również niesklasyfikowane do rodzaju bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz bakterie z rodzajów: *Acidovorax*, *Clostridium*, *Rickettsia*, *Coxiella*, *Stenotrophomonas* i *Campylobacter*. Ich transfer na rośliny bądź zwierzęta jest niezbadany, jednakże istnieje ryzyko rozpowszechniania się mikroorganizmów w środowisku nawodnionym taką wodą. Zagadnienie to omówiłam szczegółowo w rozdziale pt. „*Możliwość wykorzystania wody popowodziowej – analiza zagrożenia mikrobiologicznego*” [II.2.8, Tabela II.2, Załącznik 4].

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

Parametry bibliometryczne mojej działalności naukowej zostały zaprezentowane w wykazie osiągnięć – **Załącznik 4**. Poniżej zamieszczam opis mojego dotychczasowego rozwoju naukowego oraz ogólny zarys prowadzonej przeze mnie działalności naukowo-badawczej.

5.1. Studia oraz początki pracy naukowej

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora prace naukowe realizowałam w dwóch jednostkach naukowych:

- I. **Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II** w Lublinie (2013-2015);
- II. **Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy** w Puławach (2016-2020).

Zdobywałam również doświadczenie zawodowe w akredytowanym laboratorium:

- I. **Państwowym Instytucie Weterynaryjnym – Państwowym Instytucie Badawczym** w Puławach (2013).

W ramach realizacji zadań projektowych jako pracownik IUNG-PIB współpracowałam z takimi jednostkami, jak:

- I. **Instytut Agrofizyki** im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk;
- II. **Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy** w Skierniewicach;
- III. **Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Nowych Syntez Chemicznych** w Puławach.

Poniżej zamieszczam opis mojej działalności w tych jednostkach oraz rezultaty współpracy projektowej.

W latach 2010-2015 studiowałam biotechnologię na Wydziale Biotechnologii i Chemii Środowiska **Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II** w Lublinie. W roku 2013 uzyskałam **tytuł zawodowy licencjata biotechnologii** (KUL) na podstawie pracy dyplomowej pt. „*Otrzymywanie, właściwości i zastosowanie nanostruktur tytanu i jego stopów*”, którą wykonałam w Katedrze Bionanomateriałów, Wydziale Biotechnologii i Chemii Środowiska pod kierunkiem prof. dr hab. Pitora Staszczuka. Podczas studiów I stopnia odbyłam miesięczne **praktyki** w Zakładzie Chorób Drobiu i Zakładzie Epidemiologii i Oceny Ryzyka w **Państwowym Instytucie Weterynaryjnym – Państwowym Instytucie Badawczym** w Puławach, w ramach których zapoznałam się z zasadami pracy w laboratorium

akredytowanym o poziomie BSL3 oraz uczestniczyłam w izolacji RNA wirusowego (ptasiej grypy i rzekomego pomoru drobiu) z tkanek zwierzęcych.

Dalsze kształcenie kontynuowałam na KUL, na kierunku biotechnologia ze specjalizacją biotechnologia środowiska. W trakcie studiów II stopnia odbyłam miesięczne **praktyki** w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym** w Puławach (IUNG-PIB). Podczas praktyk zapoznałam się z działaniem laboratorium środowiskowego w praktyce oraz zapoznałam z metodami analitycznymi (m.in. oznaczeniami aktywności enzymatycznej gleb). W trakcie studiów magisterskich prezentowałam wyniki swoich badań na **Ogólnopolskiej Konferencji Studentów i Doktorantów: Kierunki Przyrodnicze i Medyczne** w Lublinie, prezentując poster naukowy pt.: „*Wpływ stresu temperaturowego na przeżywalność mikroorganizmów metanotroficznych*” [II.6.1, Tabela II.6, Załącznik 4]. Tytuł zawodowy **magistra biotechnologii** otrzymałam w roku 2015 na podstawie egzaminu i pracy magisterskiej pt. „*Rozpoznanie wartości odżywczych bakterii metanotroficznych pochodzących z różnych środowisk*”. Badania do pracy wykonałam w Katedrze Biochemii i Chemii Środowiska, Instytucie Biotechnologii, Wydziale Biotechnologii i Nauk o Środowisku pod kierunkiem prof. dr hab. Zofii Stępniewskiej.

Moja praca magisterska i prowadzone badania dotyczyły aerobowych metanotrofów, które stanowią grupę bakterii gram ujemnych zdolnych do wykorzystywania metanu jako źródła węgla i energii. Mikroorganizmy te, posiadają zdolność do biosyntezy wielu cennych metabolitów: witamin B12 i B1, bioprotektantów (ektoiny), hormonów roślinnych, enzymów. Celem mojej pracy było rozpoznanie wartości odżywczych biomasy bakterii metanotroficznych pochodzących z różnych środowisk oraz oszacowanie potencjalnego zastosowania biomasy metanotrofów jako składnika suplementów diety. Oznaczyłam także zawartość pierwiastków w płynach pochodzących i porównano ze składem wyjściowym użytej pożywki. W badaniach użyłam społeczności metanotrofów zasiedlających skały przywęgłowe w kopalni węgla „Bogdanka” S.A., zasiedlające skały pochodzące z Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. oraz konsorcja endofityczne pochodzące ze *Sphagnum* sp. (torfowce). Uzyskane przeze mnie wyniki wskazały na różnice w tempie wzrostu bakterii oraz aktywności metanotroficznej społeczności. W przypadku zawartości pierwiastków także występowały różnice, jednak akroelementem występującym w najwyższym stężeniu we wszystkich badanych biomasach metanotrofów był potas, a w najniższym stężeniu natomiast pozostawał sód. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w **publikacji naukowej** pt. „*Methanotrophic bacterial biomass as potential mineral feed ingredients for animals*” [II.4.10, Tabela II.4, Załącznik 4]. Opublikowałam również rozdział w monografii pt. „*Metanotrofy – niesamowite mikroorganizmy*”, dotyczący bakterii metanotroficznych, które stanowiły przedmiot moich badań na KUL [II.2.6, Tabela II.2, Załącznik 4].

Po zakończeniu studiów, chcąc dalej rozwijać swoją wiedzę i zainteresowania naukowe w roku 2016 odbyłam półroczny staż w Zakładzie Mikrobiologii Rolniczej w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym** w Puławach (IUNG-PIB). Pobyt w IUNG-PIB wiązał się z nauką nowych metod analitycznych z zakresu badań mikrobiologii gleb (m.in. oznaczanie zawartości biomasy mikroorganizmów, analiza z wykorzystaniem systemu Biolog®, izolacja DNA glebowego, oznaczanie zawartości POM

i inne) oraz podjęciem współpracy z dr hab. Anną M. Gajdą, przy **realizacji projektu** nr. 2.26 pt. „*Ocena jakości gleb i zróżnicowania mikroorganizmów przy wykorzystaniu oznaczeń ruchomych frakcji materii organicznej i metod molekularnych*” w **ramach subwencji statutowej MNiSW dla IUNG PIB**. Moja aktywność i zaangażowanie w prace Zakładu umożliwiły zatrudnienie mojej osoby na stanowisku technicznym w październiku 2016 roku. Wszłam w zespół realizujący projekt nr. 2.38 pt. „*Ocena jakości gleb użytkowanych rolniczo na podstawie zróżnicowania metabolicznego i genomowego profilu ich mikrobiomów oraz aktywności biologicznej przy zastosowaniu molekularnych i tradycyjnych metod środowiskowych*”, którego kierownikiem była dr hab. Anna M. Gajda [**II.13.3, Tabela II.13, Załącznik 4**] oraz projektu nr 1.27 pt.: *Charakterystyka strukturalna i funkcjonalna bioróżnorodności mikroorganizmów glebowych w ekosystemie leśnym i rolniczym*”, którego kierownikiem była dr hab. Anna Gałązka, oba były realizowane w **ramach subwencji statutowej MNiSW dla IUNG PIB**. Dodatkowo uczestniczyłam w pracach zespołu w Zadaniu 1.4. pt. „*Ocena i kształtowanie bioróżnorodności środowiska glebowego oraz aktywności mikrobiologicznej gleb z uwzględnieniem warunków siedliskowych i systemów gospodarowani*” w **Programie Wieloletnim IUNG-PIB** (dotacja Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi), którym kierowała prof. dr hab. Anna Gałązka [**II.13.1, Tabela II.13, Załącznik 4**]. Praca przy realizacji zadań projektowych umożliwiła mi rozwój kompetencji i zdolności analitycznych. Ponadto w latach 2016-2019 uczestniczyłam w **14 krajowych oraz 7 międzynarodowych konferencjach naukowych** nawiązując kontakty z innymi naukowcami oraz prezentując wyniki badań w formie referatów/posterów [**II.6.2-23, 33-45, 48-50, Tabela II.6, Załącznik 4**]. Za poster prezentowany podczas IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Biologiczne Metody Oceny Stanu Środowiska Przyrodniczego otrzymałam **nagrodę za zajęcie II miejsca w konkursie posterów naukowych** podczas Forum Młodych Naukowców [**II.16.1, Tabela II.16, Załącznik 4; Załącznik 7.1.E**]. Ponadto, jestem **współautorem publikacji** dotyczących wyników badań uzyskanych w powyższych tematach [**II.4.2, II.4.3, II.4.4, II.4.5, II.4.7, Tabela II.4, Załącznik 4**]. Chęć rozwoju poskutkowała również dwoma moimi **publikacjami pierwszo-autorskimi** [**II.4.1, II.4.6, Tabela II.4, Załącznik 4**].

W roku 2017 podjęłam pierwszą próbę aplikacji o finansowanie projektu w Narodowym Centrum Nauki przedkładając w ramach konkursu Preludium 13 wniosek pt. „*Analiza zmian zachodzących w bioróżnorodności strukturalnej i funkcjonalnej mikroorganizmów glebowych w warunkach symulowanej powodzi*”, który nie otrzymał rekomendacji do finansowania. Wniosek był przeze mnie 3-krotnie poprawiany i składany w kolejnych edycjach konkursu Preludium [**II.21.1-3, Tabela II.21, Załącznik 4**], aż do uzyskania finansowania. W roku 2020 projekt pt. „*Poszukiwanie bakterii adaptujących się do ekstremalnych warunków wilgotności gleby oraz ocena wpływu stresu hydrologicznego na jakość środowiska glebowego*” otrzymał finansowanie w ramach konkursu Preludium 18 (nr 2019/35/N/NZ9/00830) [**II.5.4, Tabela II.5, Załącznik 4**]. Kierowałam tym projektem w latach 2020-2024, a wyniki omówiłam powyżej w opisie osiągnięcia naukowego [**pkt 4.1 i 4.2**].

W latach 2018-2020 byłam zaangażowana jako **specjalista ds. analiz fenotypowych** oraz członek zespołu B+R w realizację projektu pt. „*Innowacyjny preparat do stymulacji wzrostu i plonowania pszenicy ozimej*” (LIDER/7/0024/L-9/17/NCBR/2018) finansowanego przez

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, którego kierownikiem była dr hab. Agnieszka Kuźniar (KUL) (II.5.1, Tabela II.5, Załącznik 4). W ramach współpracy z Katedrą Biologii i Biotechnologii Mikroorganizmów Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II wykonałam analizy materiału roślinnego i bakteryjnego. Efektem zrealizowanego projektu są publikacje naukowe [II.4.17, II.4.18, Tabela II.4, Załącznik 4] oraz wystąpienia konferencyjne [II.6.24-26, 46, 56-57, 98-102, 108, Tabela II.6, Załącznik 4], których jestem współautorem.

Jako pracownik Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB byłam wykonawcą w dwóch projektach badawczo-rozwojowych finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju i realizowanych we współpracy z innymi jednostkami naukowymi:

- I. „*Nowe rozwiązania biotechnologiczne w diagnostyce, zwalczaniu i monitoringu kluczowych patogenów grzybowych w ekologicznej uprawie owoców miękkich (EcoFruits)*” (BIOSTRATEG3/344433/16/NCBR/2018; 2018-2021); konsorcjum: Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk (Lider), Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB, Instytut Ogrodnictwa - PIB, Grupa Producentów „Bio-Food Roztocze” Sp. z o.o., Bio Swiss Gen Sp. z o.o. [II.5.2, Tabela II.5, Załącznik 4];
- II. „*Opracowanie technologii innowacyjnych nawozów mineralnych wzbogaconych mikrobiologicznie (Bio-Fertil)*” (BIOSTRATEG3/347464/5/NCBR/2017; 2018-2021); konsorcjum: Instytut Ogrodnictwa - PIB (Lider), Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB, Instytut Nowych Syntezy Chemicznych, GRUPA AZOTY Zakłady Azotowe Puławy S.A. [II.5.3, Tabela II.5, Załącznik 4].

Moje zaangażowanie przy projekcie EcoFruits polegało na uczestnictwie w poborze próbek z doświadczenia polowego, pomocy przy doświadczeniu szklarniowym i analizie próbek. Natomiast w przypadku projektu BioFertil poza pracami polowymi i laboratoryjnymi byłam zaangażowana w analizę, i interpretację otrzymanych danych oraz prezentowałam je na konferencjach naukowych [II.6.53, 60, 64, 73, 75, Tabela II.6, Załącznik 4].

5.2. Badania prowadzone w ramach realizacji rozprawy doktorskiej

Badania stanowiące podstawę mojej rozprawy doktorskiej realizowałam w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym (IUNG-PIB) w trybie eksternistycznym. W roku 2018 kierowałam projektem pn. Młodzi Naukowcy w ramach subwencji naukowej MNiSW dla IUNG-PIB pt. „*Wpływ letnich powodzi na zmiany bioróżnorodności strukturalnej i funkcjonalnej mikrobiomu wybranych mad rzecznych*” (Finansowanie IUNG-PIB/MNiSW) [II.13.2, Tabela II.13, Załącznik 4], którego wyniki pozwoliły na opublikowanie spójnego tematycznie zbioru sześciu publikacji [II.1.6 – pkt 4.1; II.2.5 - Tabela II.2; II.4.9, II.4.11, II.4.12, II.4.14 – Tabela II.4, Załącznik 4] stanowiących rozprawę doktorską pt. „*Wpływ symulowanej powodzi na bioróżnorodność strukturalną i funkcjonalną mikrobiomu wybranych mad rzecznych*”. Promotorem rozprawy była dr hab. Anna Gałązka, prof. IUNG-PIB; zaś promotorem pomocniczym dr inż. Jacek Niedźwiecki. Recenzenci: dr hab. inż. Maria Chmiel, prof. UR oraz prof. dr hab. Maciej Walczak. Publiczna obrona rozprawy doktorskiej miała miejsce 03.09.2020 r. podczas posiedzenia Komisji

Doktorskiej Rady Naukowej IUNG-PIB. Natomiast w dniu 21.09.2020 roku na CCLXXIV posiedzeniu Rady Naukowej IUNG-PIB została przyjęta uchwała o nadaniu **stopnia doktora w dziedzinie nauk rolniczych**, dyscyplinie ochrona i kształtowanie środowiska oraz **wyróżnieniu rozprawy [Załącznik 7.1.A]**. Otrzymałam również **nagrodę II stopnia Dyrektora IUNG-PIB** prof. dr hab. Wiesława Oleszka za rok 2020 [Załącznik 7.1.B].

Do najważniejszych wniosków wynikających z rozprawy należą: (1) w wyniku stresu powodzi w madach rzecznych zróżnicowanie strukturalne społeczności bakterii oraz ich potencjał metaboliczny uległy zwiększeniu; (2) choć mady rzeczne różnią się wieloma parametrami posiadają rodzimy mikrobiom, którego przedstawiciele byli obecni w glebach przez cały okres trwania doświadczenia; (3) nie zidentyfikowano ponad 90% sekwencji bakterii – co jednoznacznie potwierdza tezę, że w świecie bakterii glebowych kryje się wciąż wiele niewiadomych.

Publikacje badawcze wchodzące w skład rozprawy zostały docenione przez Polskie Towarzystwo Mikrobiologów, które w 2020 roku przyznało mi **Nagrodę Naukową I Stopnia Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów** (PTM) im. Prof. Edmunda Mikulaszka 2020 za cykl 3 prac doświadczalnych dotyczących mikrobiomu mad rzecznych oraz jego zmian w wyniku wystąpienia stresu powodzi [Załącznik 7.1.C]. Uważam to za cenne wyróżnienie, ponieważ dzięki niemu badania te trafiły do szerszego grona odbiorców wśród krajowych mikrobiologów. Otrzymałam **zaproszenie** do wygłoszenia referatu związanego z nagrodzoną tematyką na Ogólnopolskim XXIX Zjeździe PTM [II.6.120, Tabela II.6, Załącznik 4].

Podjęty przeze mnie temat badawczy stanowił istotny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu mikrobiologii środowiskowej, poznanie wielogatunkowych społeczności drobnoustrojów, które jako zbiorowość odpowiadają za funkcjonalność środowiska glebowego, a także poznanie liczebności, aktywności oraz zróżnicowania strukturalnego i funkcjonalnego mikroorganizmów glebowych bezpośrednio wpływających na żyzność gleby. Warto podkreślić, że rozprawa ta jest pierwszym w kraju opracowaniem dotyczącym mikrobiomu terenów zalewowych i ich odpowiedzi na stres hydrologiczny. Ma to szczególne znaczenie w dobie postępujących zmian klimatycznych i nasilających się zjawisk ekstremalnych, a tereny zalewowe w naszym kraju to w większości obszary rolnicze. Na świecie przeprowadzono niewiele badań dotyczących wpływu powodzi na środowisko glebowe, a w szczególności jego mikrobiom. Moje badania wyróżniają się w tej dziedzinie. Ponadto, jako nieliczna wśród mikrobiologów, nie odrzuciłam niesklasyfikowanych wyników z sekwencjonowania, ale wykazałam, że są to taksony dominujące w badanych przeze mnie glebach, co jest ważną informacją, wskazującą kierunek dalszych badań nad mikrobiomem środowiskowym. Publikacja poruszająca to zagadnienie [II.1.6 – pkt 4.1] jest obecnie często cytowana.

Efektom uzyskanych przeze mnie w ramach rozprawy wyników jest również **projekt** badawczy kontynuujący podjęty temat – Preludium nr 2019/35/N/NZ9/00830 – opisany w **pkt 4.1 i 4.2**.

5.3. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuowałam działalność naukową w **Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa** – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach. W latach 2020-2024 odbyłam trzy wyjazdy naukowe do innych jednostek:

- I. **Uniwersytet Rolniczy w Krakowie** (2022);
- II. **Mediterranean Institute for Life Sciences** (MedILS), Split, Chorwacja (2023);
- III. **Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy** w Skierniewicach (2024).

W roku 2022 odbyłam krótki staż naukowy na **Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie** podczas którego zapoznałam się z metodą izolacji bakterii oraz określania ich antybiotykooporności z próbek wody [Załącznik 7.5.A]. Zdobyte umiejętności wykorzystywałam następnie w pracy z wodą rzeczną i powodziową w ramach kierowanego przeze mnie projektu. Pobyt pozwolił na wspólne przygotowanie wniosków projektowych, które złożyliśmy w konkursie Sonata 18 i Opus 25 (NCN), ale nie otrzymały one finansowania [II.21.6 i 8, Tabela II.21, Załącznik 4].

Rok później zaklasyfikowałam się jako uczestnik **4th FEMS Summer School for Postdocs: Cutting-edge Microbial Technologies for a Sustainable Industrial Future** organizowanej przez Federation of European Microbiological Societies w **Mediterranean Institute for Life Sciences** (MedILS), Split, Chorwacja [Załącznik 7.5.B]. W ramach zajęć zdobyłam nową wiedzę z zakresu nauk omycznych i biotechnologii, a także uczestniczyłam w pracach nad mini-projektem. Efektem jest również nawiązanie współpracy z prof. Ivica Dimkić z Faculty of Biology **University of Belgrade** (Serbia). Dołączył on jako partner międzynarodowy do projektu nr 2024/55/D/ST10/02064, który złożyłam w ramach konkursu Sonata 20 i jest obecnie w trakcie oceny w Narodowym Centrum Nauki [II.21.19, Tabela II.21, Załącznik 4].

W roku 2024 odbyłam staż naukowy w **Instytucie Ogrodnictwa – Państwowym Instytucie Badawczym** pod opieką prof. dr hab. Lidii Sas-Paszt [Załącznik 7.5.C]. W ramach stażu we współpracy z dr Beatą Kowalską oznaczyłam **właściwości antagonistyczne szczepów bakterii** wobec wybranych patogenów grzybowych. Uzyskane wyniki okazały się bardzo obiecujące. Wykazałyśmy, że badany szczep *Bacillus* sp. ma zdolność do hamowania wzrostu *S. sclerotiorum* o 22,2% w porównaniu z próbką kontrolną. Efektem współpracy jest **poster naukowy** pt. „Wpływ wybranych szczepów bakterii na wzrost *Sclerotinia sclerotiorum*” zaprezentowany podczas V Ogólnopolskiej Przyrodniczej Konferencji Naukowej „*Mater naturae*” – osiągnięcia, wyzwania i problemy nauk przyrodniczych [II.6.93, Tabela II.6, Załącznik 4] oraz **materiały konferencyjne** [Załącznik 7.4.B]. Publikacja naukowa dotycząca części wyników jest w przygotowaniu, a pozostałe wyniki będą stanowiły podstawę projektu o charakterze aplikacyjnym.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nawiązałam **współpracę z licznymi jednostkami naukowymi w kraju i zagranicą** – pełny spis zamieściłam w Tabeli II.19 w Załączniku 4. Współprace o szerokim zakresie wspólnych działań podjęłam z:

- I. **Uniwersytet Warszawski**, Katedra Geomikrobiologii;
- II. **Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej** w Lublinie, Katedra Genetyki i Mikrobiologii;
- III. Soil and Crop Sciences, **Texas A&M University**, College Station, USA;

Współpraca z **Uniwersytetem Warszawskim** rozpoczęłam od poznania dr Klaudii Dębiec-Andrzejewskiej podczas 4th FEMS Summer School for Postdocs w Chorwacji. Ze względu na

zbliżone realizowane tematy badawcze i zainteresowania podjęłyśmy decyzję o współpracy po powrocie do Polski. Podczas jednodniowej wizyty studyjnej w 2023 roku zapoznałam się z zakresem działalności Zakładu. W ramach wspólnych działań bakterie pochodzące z mojej kolekcji zostały przebadane przez pracowników Zakładu Geomikrobiologii UW w zakresie produkcji kwasu indolilo-3-octowego (IAA) oraz tolerancji na zasolenie (ze względu na charakter projektu OSMO-PROTECT dane te nie zostały na chwilę obecną upublicznione). W 2023 gościłam w Zakładzie Mikrobiologii IUNG-PIB mgr Aleksandrę Goszcz, doktorantkę z Uniwersytetu Warszawskiego, która pod moją opieką wykonała analizę GENIII Biolog® bakterii będących przedmiotem badań w projekcie nr 2022/47/D/ST10/03218 (Sonata 18, NCN), którego kierownikiem jest dr Dębiec-Andrzejewska. Współpraca z Uniwersytetem Warszawskim zaowocowała przygotowaniem wniosków projektowych: *BIOGLOBE* (nr FENG.02.03-IP.05-0055/24), który obecnie jest w II etapie oceny w konkursie Team Net FENG (Fundacja na rzecz Nauki Polskiej) [II.21.17, Tabela II.21, Załącznik 4] oraz *hELPStress* (nr 2024/55/D/ST10/02064), który również jest w trakcie oceny w konkursie Sonata 20 (NCN) [II.21.18, Tabela II.21, Załącznik 4]. Ponadto wraz z zespołem dr Dębiec-Andrzejewskiej opracowaliśmy publikację naukową dotyczącą osmoprotektantów bakteryjnych, która została złożona do czasopisma *FEMS Microbiology Reviews* (nr zgłoszenia: FEMSRE-25-01-0002) i jest obecnie w recenzji.

Nawiązałam również współpracę z Siddhartha Shankar Bhattacharyya oraz Md Shakhawat Hossain z **Texas A&M University** (College Station, USA). Nasza wspólne działania opierają się na dyskusji naukowej, analizie bioinformatycznej danych uzyskanych z sekwencjonowania oraz analizie statystycznej danych. Efektem współpracy są trzy publikacje naukowe: (1) “*Soil carbon sequestration – an interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics*” w *Science of The Total Environment* (2022) [II.4.21, Tabela II.4, Załącznik 4]; (2) “*Soil Biological Fertility by Altering Rhizospheric Nutrient Cycling and Biocrust Formation*” w *Sustainability* (2023) [II.4.22, Tabela II.4, Załącznik 4]; (3) “*Pre-isolation procedures matter – Comparison of different filtration methods prior to DNA isolation in river microbiome analysis*” w *Ecohydrology & Hydrobiology* (2024) [II.4.23, Tabela II.4, Załącznik 4].

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

W ramach szkoleń i warsztatów organizowanych przez Instytut oraz inne organizacje w celu kształcenia kadr dla rolnictwa wygłosiłam dotychczas 7 referatów:

- I. pt.: „*Znaczenie drobnoustrojów glebowych w warunkach zmian wilgotności gleby*: wygłoszony podczas szkolenia z zakresu hodowli i szkółkarstwa organizowanego przez Regionalną Dyрекcję Lasów Państwowych w Łodzi (Nagórzyce, 09-10.02.2023);
- II. pt.: „*Wpływ zmian klimatu na wilgotność gleby oraz możliwość zastosowania preparatów mikrobiologicznych w zwalczaniu ich skutków*” wygłoszony podczas

- Warsztatów Naukowych pt. „Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska” organizowanych przez IUNG-PIB (Puławy, 23.06.2023); podczas serii szkoleń pt. „Preparaty mikrobiologiczne” organizowanych przez IUNG-PIB dla Podkarpackiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego (Boguchwała, 04.12.2023) i Świętokrzyskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego (Modliszewice, 12.03.2024);
- III. pt. „*Znaczenie mikroorganizmów w jakości gleb i plonowaniu roślin*” wygłoszony podczas szkolenia pt. „Preparaty mikrobiologiczne” organizowanego przez IUNG-PIB dla Podkarpackiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego (Boguchwała, 04.12.2023);
- IV. pt. „*Mikroorganizmy glebowe w obliczu zmian klimatu i ich potencjał agrobiotechnologiczny*” wygłoszony podczas szkolenia pt. „Preparaty mikrobiologiczne” organizowanego przez IUNG-PIB dla Łódzkiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego (Bratoszewice, 12.07.2024).

Wykaz wygłoszonych w ramach kształcenia kadr dla rolnictwa wykładów zamieściłam w **Tabeli II.18 w Załączniku 4.**

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora sprawowałam również opiekę nad praktykantami, stażystami i doktorantami przebywającymi w Zakładzie Mikrobiologii IUNG-PIB. Zestawienie tabelaryczne moich aktywności jako opiekun znajduje się w Tabeli **II.22. w Załączniku 4**, poniżej opisuję zakres moich prac w ramach pełnionej opieki.

- I. Opieka nad praktykantami z Zespołu Szkół Technicznych im. Marii Skłodowskiej-Curie w Puławach podczas miesięcznych praktyk zawodowych – moje zaangażowanie obejmowało naukę wykonywanych w Zakładzie analiz, nadzór nad prawidłowym wykonywaniem prac, rozmowy na zagadnienia związane z pracą w laboratorium;
- II. Opieka na stażystami z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie i Uniwersytetu Łódzkiego podczas miesięcznych staży studenckich - moje zaangażowanie obejmowało naukę wykonywanych w Zakładzie analiz, organizację pracy, nadzór nad prawidłowym wykonywaniem prac, rozmowy na zagadnienia związane z pracą w laboratorium;
- III. Opieka nad doktorantką z Uniwersytetu Warszawskiego podczas jednodniowej wizyty studyjnej - moje zaangażowanie obejmowało naukę analizy bakterii metodą GENIII Biolog®, wykonania wspólnie tej analizy, zestawieniu danych i pomocy w interpretacji wyników; wizyta odbyła się w ramach projektu nr 2022/47/D/ST10/03218 (Sonata 18, NCN) kierowanego przez dr Klaudię Dębiec-Andrzejewską i była związana z rozprawą doktorską Pani mgr Aleksandry Goszcz.

6.2. Działalność organizacyjna

6.2.1. Uczestnictwo w komitetach organizacyjnych konferencji i wydarzeń naukowych

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora byłam **członkiem komitetów organizacyjnych** 2 edycji Konferencji Naukowej „*Bioróżnorodność funkcjonalna gleb Polski*” organizowanej przez Zakład Mikrobiologii IUNG-PIB w Puławach w latach 2017 i 2018. Podczas przygotowań konferencji obsługiwałam **sekretariat konferencji**.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora byłam członkiem komitetów organizacyjnych **15 konferencji krajowych**. Zakład Mikrobiologii IUNG-PIB **organizował 6 wydarzeń**, podczas których byłam członkiem komitetu organizacyjnego i sekretariatu konferencji: Ogólnopolskie Sympozjum Mikrobiologiczne „*Metagenomy różnych środowisk*” (edycja VI, 2022), Ogólnopolska Konferencja Mikrobiologiczna (edycja 55, 2023), Konferencja naukowa i warsztaty pt. „*Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska*” (w latach 2023 i 2024), Konferencja naukowa „*Bioróżnorodność środowiska glebowego*” (2020, 2024).

Dodatkowo byłam członkiem komitetów organizacyjnych **w zakresie działań promocyjnych 5 konferencji** naukowych organizowanych przez Fundację na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL (Lublin), m.in. Interdyscyplinarnej Konferencji Naukowej „*Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju*” (edycja XV, 2023), V Ogólnopolska Konferencja Naukowa „*Ochrona środowiska - rozwiązania i perspektywy*” (2023).

Pełniłam również rolę **członka komitetów naukowych 6 konferencji**, m.in. IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „*OZE – innowacje, wyzwania i możliwości*” (2023), Ogólnopolskiego Sympozjum Mikrobiologicznego „*Metagenomy Różnych Środowisk*” (2022, 2024), XVI Interdyscyplinarnej Konferencji Naukowej „*Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju*”, Ogólnopolskiej Konferencji Mikrobiologicznej (edycja 55 i 56, lata 2023-2024). W ramach prac komitetu naukowego VIII Ogólnopolskiego Sympozjum Mikrobiologicznego „*Metagenomy Różnych Środowisk*” organizowanego przez Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II w Lublinie przewodniczyłam sesji pt. „*Pico prezentacje – sesja dla młodych naukowców*” oraz byłam członkiem komisji naukowej oceniającej prezentacje posterowe w konkursie dla Młodych Naukowców.

Szczegółowe zestawienie mojego uczestnictwa w komitetach organizacyjnych oraz naukowych konferencji i warsztatów zamieściłam w **Tabeli II.7 w Załączniku 4**.

6.2.2. Członkowsko w organizacjach naukowych

Ze względu na chęć rozwoju i zainteresowania ściśle związane z mikrobiologią niemal od początku swojej pracy w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytucie Badawczym przynależę do **Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów (PTM)**. Początkowo do Oddziału Terenowego w Puławach, obecnie do Oddziału Lubelskiego. Zostałam również wybrana na delegata Oddziału Lubelskiego na lata 2022-2026 [**Tabela II.8., Załącznik 4**]. Z przynależnością do Towarzystwa wiąże się również członkostwo w międzynarodowym towarzystwie mikrobiologów - **Federation of European Microbiological Societies (FEMS)**.

W ramach działalności na rzecz PTM wygłosiłam **2 referaty na zaproszenie** podczas sesji naukowych organizowanych przez Oddziały Terenowe w Warszawie i Lublinie [**Tabela II.6., Załącznik 4**]. W ramach przynależności do FEMS miałam możliwość uczestnictwa w 4th FEMS Summer School for Postdocs [**Tabela II.9., Załącznik 4**], a obecnie współpracuję przy organizacji konferencji FEMS MICRO Milan 2025.

Od roku 2024 jestem również członkiem **Polskiego Towarzystwa Agronomicznego (PTA)** [**Tabela II.8., Załącznik 4**]

6.2.3. Pozostała działalność organizacyjna

Moja działalność organizacyjna na poziomie Instytutu rozpoczyna się od pełnienia funkcji **zastępcy kierownika Zakładu Mikrobiologii** w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytucie Badawczym (od stycznia 2024 do chwili obecnej).

Od lutego 2021 roku jestem członkiem **zespołu audytu wewnętrznego HRS4R** w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytucie Badawczym (od lutego 2021; zarządzenia nr 020-6/2021, 020-5/2023), a od listopada 2024 r. **przewodniczę** temu zespołowi na mocy Zarządzenia Dyrektora IUNG-PIB nr 020-80/2024.

Powyższe informacje zostały przedstawione w **Tabeli II.17.** w **Załączniku 4.**

6.3. Działalność popularyzująca naukę

Wykaz pełnej działalności związanych z promocją nauki zamieściłam w **Tabeli II.20** w **Załączniku 4.**

Pierwsze działania mające na celu popularyzację nauki podjęłam jeszcze podczas studiów współprowadząc zajęcia warsztatowo-laboratoryjne dla młodzieży pt.: „*Jak wyhodować bakterie? – czyli przewodnik młodego mikrobiologa*” w ramach **IV Edycji Nocy Biologów** na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim (2015). Następnie w roku 2017 prowadziłam zajęcia warsztatowe dla dzieci szkół podstawowych pt. „*Wszechobecne mikroorganizmy*” w ramach **XIV Lubelskiego Festiwalu Nauki** w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytucie Badawczym [**Tabela II.20.1, Załącznik 4**].

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora wygłosiłam referat pt. „*Wszechobecne mikroorganizmy - sprzymierzeńcy, czy wrogowie*” podczas spotkania pt. „*W świecie mikroorganizmów*” organizowanego w ramach **Dnia Nauki Polskiej** przez Generator Nauki GEN (Jasło, 2024). Uczestniczyłam również jako wystawca i prowadząca pokazy dla uczniów podczas **V Krajowych Dniach Pola** (Boguchwała, 2024) [**Tabela II.20.1, Załącznik 4**].

Jestem autorem czterech **publikacji popularno-naukowych** opublikowanych na portalach internetowych [**Tabela II.20.2, Załącznik 4**]:

- I. „*Reakcja bakterii glebowych na powódź*” - Sekcja Rzecz O Innowacjach; portal *rzecz.pl*;
- II. „*Mikroorganizmy w obliczu zmian klimatu. Jak wesprzeć rośliny?*” - Portal *Farmer.pl*;
- III. „*Biopreparaty i biozaprawy w ocenie mikrobiologa*” - Portal *Farmer.pl*;
- IV. „*Bakterie ochronią rośliny uprawne*” - Serwis Nauka w Polsce, Polska Agencja Prasowa.

Jestem współzałożycielem/założycielem i redaktorem **dwóch stron internetowych** [**Tabela II.20.3, Załącznik 4**]:

- I. www.mikro-iung.pl - strona internetowa Zakładu Mikrobiologii IUNG-PIB;
- II. www.osmo-protect.pl - strona internetowa projektu OSMO-PROTECT.

Od roku 2022 współpracuję również z Fundacją na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL promując wydarzenia naukowe oraz współorganizując konferencje [**Tabela II.20.4 oraz II.7, Załącznik 4**].

7. Inne informacje dotyczące dorobku naukowego

Tabelaryczne zestawienie moich osiągnięć w pracy naukowo-badawczej przedstawiłam szczegółowo w **Załączniku 4**.

7.1. Nagrody i wyróżnienia

2024: Stypendium Ministra Nauki dla wybitnych młodych naukowców, edycja 19 [**Załącznik 7.1.I**];

2024: III miejsce w konkursie Kobiety Tworzą Innowacje! organizowanym przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Warszawie w ramach Sieci na rzecz innowacji w rolnictwie i na obszarach wiejskich (SIR), w kategorii „Naukowczyni w produkcji roślinnej” za realizację projektu OSMO-PROTECT (Lider14/0250/2023) [**Załącznik 7.1.H**];

2024: I miejsce za poster pt. *Effect of blackcurrant cultivation on the microbiome of Fluvisols* (Furtak K., Marzec-Grządziel A.) zaprezentowany podczas 1st International Conference of Soil and Agriculture (ICSA 2024) Towards Soil Sustainability w kategorii Młody Naukowiec [**Załącznik 7.1.D**];

2024: Wyróżnienie referatu pt. *Wpływ dodatku wybranych egzogennych osmoprotektantów na aktywność mikrobiologiczną gleby w różnych warunkach wilgotności* w konkursie Młodych Naukowców podczas VI Konferencji Naukowej “Bioróżnorodność środowiska glebowego” [**Załącznik 7.1.J**];

2024: Nominacja do międzynarodowej nagrody gospodarczej „Green Product Award”;

2024: Nominacja do Nagrody Polski Innowator 2024, w kategorii Osobistość Nauki;

2024: Nominacja do tytułu Symbol Naukowca Roku 2024;

2023: Nominacja do Nagrody Naukowiec Przyszłości 2024;

2023: I Nagroda Komitetu redakcyjnego czasopisma *Polish Journal of Agronomy* za publikację Furtak K., Grządziel J. (2023): *Fungal community change in selected fluvisols under simulated flooding condition*; *Polish Journal of Agronomy*, 52, 31-42, doi: <http://10.26114/pja.iung.511.2023.52.04>;

2022: Wyróżnienie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi za szczególne krajowe osiągnięcie mające znaczenie dla wdrażania postępu w rolnictwie w formie realizacji, wdrażania i upowszechniania wyników pracy naukowej pt.: *Ochrona i kształtowanie bioróżnorodności środowiska glebowego - działania upowszechnieniowe i edukacyjne łączące naukę z praktyką rolniczą i doradztwem rolnym mające na celu zahamowanie utraty bioróżnorodności gleb i wsparcie biologizacji rolnictwa*. Wykonanej w Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy [**Załącznik 7.1.G**];

2021: Nominacja do ogólnopolskiej nagrody gospodarczej Ambasador Innowacyjności od Europejskiego Ośrodka Rozwoju Gospodarki (EORG) za wkład w rozwój innowacji w Polsce, za przyszłościowe, nieszablonowe myślenie, pionierskie projekty, nowe idee i niezwykle rozwiązania. Przede wszystkim za budowanie pozytywnego wizerunku polskich innowacji, które są na bardzo wysokim poziomie i niejednokrotnie wyprzedzają światowe trendy;

- 2021:** Nominacja do Nagrody Naukowiec Przyszłości 2021 w kategorii: *Nauka dla lepszego życia w przyszłości* za realizację projektu pt. *Poszukiwanie bakterii adaptujących się do ekstremalnych warunków wilgotności gleby oraz ocena wpływu stresu hydrologicznego na jakość środowiska glebowego* (2019/35/N/NZ9/00830; Preludium 18, Narodowe Centrum Nauki);
- 2021:** Nagroda Dyrektora IUNG-PIB prof. dr hab. Wiesława Oleszka II stopnia za pracę doktorską pt. „*Wpływ symulowanej powodzi na bioróżnorodność strukturalną i funkcjonalną mikrobiomu wybranych mad rzecznych*”, składającą się z 6 prac naukowych o łącznej liczbie 290 punktów MEiN oraz IF = 7,927 [Załącznik 7.1.B];
- 2020:** Wyróżnienie rozprawy doktorskiej pt. *Wpływ symulowanej powodzi na bioróżnorodność strukturalną i funkcjonalną mikrobiomu wybranych mad rzecznych*; Uchwała Rady Naukowej IUNG-PIB z dnia 21.09.2020 [Załącznik 7.1.A];
- 2020:** Nagroda Naukowa 2020 Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów (PTM) im. Prof. Edmunda Mikulaszka I stopnia za cykl 3 prac opublikowanych w latach 2018-2019: (1). Furtak K., Grządziel J., Gałązka A., Niedźwiecki J. (2020): *Prevalence of unclassified bacteria in the soil bacterial community from floodplain meadows (fluvisols) under simulated flood conditions revealed by a metataxonomic approach*. Catena, 188, 104448; doi: 10.1016/j.catena.2019.104448 (IF = 3,851; 140 pkt. MEiN); (2). Furtak K., Grządziel J., Gałązka A., Niedźwiecki J. (2019): *Analysis of soil properties, bacterial community composition, and metabolic diversity in fluvisols of a floodplain area*. Sustainability, 11, 14, 3929; doi:10.3390/su11143929 (IF = 2,592; 70 pkt. MEiN); (3). Furtak K., Gałązka A., Niedźwiecki J. (2020): *Changes in soil enzymatic activity caused by hydric stress*. Polish Journal of Environmental Studies, 29, 4, 1-8; doi.org/10.15244/pjoes/112896 (IF = 1,186; 40 pkt. MEiN) [Załącznik 7.1.C];
- 2019:** Nagroda za najlepszy referat wygłoszony w sesji dla młodych naukowców podczas 53 Ogólnopolskiej Konferencji Mikrobiologicznej pt. *Mikroorganizmy w zrównoważonym rolnictwie, ochronie środowiska i procesach biotechnologicznych*; 08-11.09.2019r., Poznań; wyróżnienie od Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wyróżniony referat: „*Wpływ stymulowanej powodzi na społeczność bakterii glebowych*” [Załącznik 7.1.F];
- 2017:** Nagroda i dyplom za zajęcie II miejsca w konkursie posterów naukowych podczas Forum Młodych Naukowców na IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. *Biologiczne Metody Oceny Stanu Środowiska Przyrodniczego*; 7-9.06.2017r., Szczecin – Siemczyno; wyróżnienie od Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Wyróżniony poster: „*Aktywność enzymatyczna jako wskaźnik jakości środowiska glebowego w różnych systemach gospodarowania*” [Załącznik 7.1.E].

Spis otrzymanych nagród i wyróżnień zamieściłam w **Tabeli II.16. w Załączniku 4**. Natomiast potwierdzenia otrzymania ww. nagród i wyróżnień stanowią kopie dyplomów/certyfikatów zamieszczone w **Załączniku 7.1**.

7.2. Podsumowanie wskaźników dokonań naukowych⁴

Mój dorobek naukowo-badawczy obejmuje **179** pozycji publikacyjnych, w tym **30** oryginalnych publikacji naukowych, 3 monografie naukowych w języku polskim, 2 rozdziałów w monografii w języku angielskim, 7 rozdziałów w monografii w języku polskim, 2 poradników dla rolników oraz 38 komunikatów z konferencji międzynarodowych i 97 komunikatów z konferencji krajowych. Warto podkreślić, że jestem autorka lub współautorka **25** oryginalnych prac twórczych i przeglądowych wydanych w czasopiśmie z IF. Z pośród 43 dotychczas opublikowanych oryginalnych prac twórczych i przeglądowych w **22** publikacjach jestem pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym. Aktualnie opracowuję kolejne prace naukowe, cztery artykuły są obecnie w trakcie recenzji.

Mój całościowy dorobek naukowy (łącznie z cyklem prac stanowiącym osiągnięcie) według punktacji MNiSW zgodnie z rokiem publikacji wynosi **2560 punktów**, a zgodnie z wykazem z dn. 5 stycznia 2024 r. **2394 punktów** [Tabela IV.4.1, Załącznik 4]. Dodatkowo zgodnie z wykazem wydawnictw z dn. 22 lipca 2021 r. dorobek za współautorstwo monografii oraz rozdziałów w monografii wynosi **405 punktów** [Tabela IV.4.2, Załącznik 4]. Spośród 179 pozycji publikacyjnych 81 opublikowałam po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

Sumaryczny *impact factor* dla opublikowanych przeze mnie prac wynosi **86,641** wg roku wydania publikacji [Tabela IV.1, Załącznik 4]. Liczba cytowań bez autocytowań według bazy Web of Science wynosi **474**, a index Hirscha **13**, natomiast według bazy Scopus liczba cytowań bez autocytowań wynosi **578**, a index Hirscha **12** [Tabela IV.2 i IV.3, Załącznik 4].

W ciągu całego okresu pracy zawodowej brałam i nadal biorę czynny udział w realizacji 4 projektów finansowanych ze źródeł zewnętrznych, 5 tematów badawczych w ramach działalności statutowej IUNG-PIB oraz 4 zadań w ramach realizacji Programu Wieloletniego IUNG-PIB i Dotacji celowej MRiRW. W 4 projektach badawczych byłam lub jestem kierownikiem tematu [Tabela II.5 i II.13, Załącznik 4].

Podczas dotychczasowej pracy naukowej brałam czynny udział w 17 kongresach, sympozjach i warsztatach międzynarodowych oraz w 35 konferencjach i sympozjach krajowych. Łącznie w całej pracy zawodowej wygłosiłam 4 referaty na konferencjach międzynarodowych (wszystkie po uzyskaniu stopnia doktora) oraz 12 na konferencjach krajowych, z czego 5 po uzyskaniu stopnia doktora [Tabela II.6, Załącznik 4]. W roku 2022 zostałam zaproszona do wygłoszenia referatu plenarnego na XXIX Ogólnopolski Zjazd Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów. Łącznie jako autor i współautor zaprezentowałam 32 prezentacji posterowych na konferencjach międzynarodowych, z czego 17 po uzyskaniu stopnia doktora oraz 76 prezentacji posterowych na konferencjach krajowych, z czego 44 po uzyskaniu stopnia doktora [Tabela II.6, Załącznik 4]. Dodatkowo wygłosiłam **3 referaty** na **spotkaniach naukowych** (po uzyskaniu stopnia doktora) [Tabela II.6, Załącznik 4] oraz **7 podczas szkoleń/warsztatów dla kadry rolniczej** [Tabela II.18, Załącznik 4].

W latach 2018-2024 wykonałam 143 recenzje artykułów naukowych dla 40 czasopism o zasięgu międzynarodowym z listy JCR. Recenzowałam również 1 monografię [Załącznik 7.6] i 4 rozdziały do monografii dla wydawnictw zawartych w wykazie wydawnictw punktowanych [Tabela II.11, Załącznik 4].

⁴ statystyki z dn. 20.01.2025 r.

Recenzowałam granty dla Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada [Załącznik 7.7] oraz projekty w ramach konkursu Horizon Europe Mission Soil dla European Research Executive Agency [II.14.3, Tabela II.14, Załącznik 4]. Jestem również ekspertem w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju [II.14.2, Tabela II.14, Załącznik 4].

Podnosząc swoje kompetencje i umiejętności stale uczestniczę w szkoleniach oraz kursach. Uczestniczyłam w 35 kursach/szkoleniach, czego 26 odbyłam po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Większość z nich dotyczyła metod badawczych, ale uczestniczyłam również w kursach dla ekspertów NCBR, z zarządzania projektami [Załącznik 7.8], z analizy statystycznej i bioinformatyczne danych, oraz z pierwszej pomocy, i ratownictwa medycznego. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora zdałam również egzamin z języka angielskiego zdobywając certyfikat TOEIC® Listening and Reading Test [Załącznik 7.9].

Moja działalność była wielokrotnie doceniana przez innych naukowców i jednostki administracji państwowej. Jestem laureatką 17 nagród/wyróżnień/nominacji, z czego 14 otrzymałam po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Wśród najważniejszych wyróżnień należy wymienić zespołowe wyróżnienie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, stypendium Ministra Nauki dla wybitnych młodych naukowców, nagrodę Dyrektora IUNG-PIB oraz Nagrodę Naukową Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów.

7.3. Przerwa w działalności naukowej

Liczba dni przerwy w działalności naukowej w latach 2021-2022 wynosi 363 dni (urlop macierzyński). Potwierdzenie przerwy w działalności naukowej stanowi Załącznik nr 7.10.

7.4. Profile w bazach danych

- Web of Science ResearchID [N-8224-2017](#)
- ORCID [0000-0002-7839-9176](#)
- Publons 1395896

.....
(podpis wnioskodawcy)

8. Wykaz tabel i figur

8.1. Tabele

Tabela 1. Wykaz próbek środowiskowych analizowanych w ramach omawianego osiągnięcia	13
Tabela 2. Przykładowe właściwości wybranych bakterii	25
Tabela 3. Względna liczebność potencjalnych patogenów w badanych glebach	28

8.2. Figury

Figura 1. Właściwości badanych gleb	16
---	----

Figura 2. Porównanie struktury mikrobiomu w badanych glebach na poziomie rodzajów między analizowanymi madami	16
Figura 3. Mapa cieplna z hierarchicznym grupowaniem opartym na odległości Bray-Curtisa najliczniejszych rodzajów grzybów	17
Figura 4. Aktywność dehydrogenaz (DHa) w madach rzecznych	19
Figura 5. Wpływ symulowanej powodzi na względną liczebność grzybów na poziomie typu w wybranych madach rzecznych	20
Figura 6. Publikacja I.1.3 wśród 1% najlepszych publikacji w dziedzinie nauk rolniczych	22

9. Literatura uzupełniająca

1. Kozdrój, J. Metagenome – a new source of information about soil microorganisms. *Adv. Microbiol.* **52**, 185–200 (2013).
2. Nemergut, D. R., Schmidt, S. S. K., Fukami, T., O'Neill, S. P. & Et al. Soil Type Is the Primary Determinant of the Composition of the Total and Active Bacterial Communities in Arable Soils Soil Type Is the Primary Determinant of the Composition of the Total and Active Bacterial Communities in Arable Soils. *Soil Biol. Biochem.* **8**, 1–8 (2014).
3. Dubey, A. et al. Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate. *Biodivers. Conserv.* **28**, 2405–2429 (2019).
4. Jansson, J. K. & Hofmockel, K. S. The soil microbiome — from metagenomics to metaphenomics. *Curr. Opin. Microbiol.* **43**, 162–168 (2018).
5. Sienkiewicz, J. Concepts of biodiversity – their dimensions and measures in the light of literature. *Ochr. Środowiska i Zasobów Nat.* 7–29 (2010).
6. Krebs, C. J. *The experimental analysis of distribution and abundance*. (Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011).
7. de Gannes, V., Eudoxie, G., Bekele, I. & Hickey, W. J. Relations of microbiome characteristics to edaphic properties of tropical soils from Trinidad. *Front. Microbiol.* **6**, (2015).
8. Anjos, L. et al. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106* (FAO, 2014).
9. Kanińska, R. et al. Fluvisols Contribution to Water Retention Hydrological Ecosystem Services in Different Floodplain Ecosystems. *L. 2022, Vol. 11, Page 1510* **11**, 1510 (2022).
10. Zawadzki, S. *Gleboznawstwo*. (Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010).
11. Ruiz, I. & Sanz-Sánchez, M. J. Effects of historical land-use change in the Mediterranean environment. *Sci. Total Environ.* **732**, 139315 (2020).
12. Furtak, K. & Wolińska, A. The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. *Catena* vol. 231 (2023).
13. Furtak, K., Gawryjolek, K., Marzec-Grządziel, A. & Niedźwiecki, J. The Influence of Human Agricultural Activities on the Quality of Selected Fluvisols from the Vistula River Valley, Poland—Preliminary Research. *Agronomy* **14**, 480 (2024).
14. Zhang, Y. et al. Application of soil quality index to determine the effects of different vegetation types on soil quality in the Yellow River Delta wetland. *Ecol. Indic.* **141**, 109116 (2022).
15. Es, H. M. van & Karlen, D. L. Reanalysis Validates Soil Health Indicator Sensitivity and Correlation with Long-term Crop Yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **83**, 721–732 (2019).
16. Yang, T., Siddique, K. H. M. & Liu, K. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Glob. Ecol. Conserv.* **23**, e01118 (2020).
17. Parikh, S. J. & James, B. R. Soil: The Foundation of Agriculture. *Nat. Educ. Knowledge* **3**(10), (2012).
18. Panagos, P. et al. Soil Conservation in Europe: Wish or Reality? *L. Degrad. Dev.* **27**, 1547–1551 (2016).
19. Molotoks, A., Smith, P. & Dawson, T. P. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. *Food Energy Secur.* **10**, e261 (2021).
20. Klamkowski, K. & Treder, W. Impact of quantity and intensity of precipitation on changes in soil water content in an apple orchard. *Infrastruct. Ecol. Rural areas* **5**, 115–126 (2011).
21. Wolińska, A. Dehydrogenase activity of soil microorganisms and oxygen availability during reoxidation process of selected mineral soils from Poland. *Acta Agrophysica, Rozpr. i Monogr.* **3**, 12–30 (2010).
22. Czaban, J., Wróblewska, B., Niedźwiecki, J. & Sulek, A. Relationships between Numbers of Microbial

- Communities in Polish Agricultural Soils and Properties of these Soils, paying Special Attention to Xerophilic/Xerotolerant Fungi. *Polish J. Environ. Stud.* **19**, 1171–1183 (2010).
23. Young, I. . & Ritz, K. Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil Tillage Res.* **53**, 201–213 (2000).
 24. Chmura, K., Dmowski, Z. & Nowak, L. Role of the water factor in yield formation of chosen field crops. *Infrastructure Ecol. Rural areas* 33–44 (2009).
 25. Oleszczak, M. Wpływ przebiegu warunków atmosferycznych na procesy glebowe. *Sad* **1**, 60–64 (2016).
 26. Parlament Europejski i Rada Europejska. Dyrektywa 2007/60/WE z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim. *Dz. Urzędowy Unii Eur. L* 288/27 – L 288/34 (2007).
 27. Dziennik Ustaw. Prawo wodne. **poz. 1566**, (2017).
 28. Ponting, J., Kelly, T. J., Verhoef, A., Watts, M. J. & Sizmur, T. The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in floodplain soil – A review. *Sci. Total Environ.* **754**, 142040 (2021).
 29. Steichen, J. L. *et al.* Microbial, Physical, and Chemical Changes in Galveston Bay Following an Extreme Flooding Event, Hurricane Harvey. *Front. Mar. Sci.* **7**, 489883 (2020).
 30. Banach, A. M. *et al.* Effects of summer flooding on floodplain biogeochemistry in Poland; Implications for increased flooding frequency. *Biogeochemistry* **92**, 247–262 (2009).
 31. Furtak, K., Grzadziel, J. & Gałazka, A. Can Model Experiments Give Insight into the Response of the Soil Environment to Flooding? A Comparison of Microcosm and Natural Event. *Biology (Basel)*. **11**, 386 (2022).
 32. Gu, Y., Wang, P. & Kong, C. H. Urease, invertase, dehydrogenase and polyphenoloxidase activities in paddy soil influenced by allelopathic rice variety. *Eur. J. Soil Biol.* **45**, 436–441 (2009).
 33. *Systematyka gleb Polski, wydanie 6.* (Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Komisja Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb, 2019).
 34. Barra Caracciolo, A., Bottoni, P. & Grenni, P. Microcosm studies to evaluate microbial potential to degrade pollutants in soil and water ecosystems. *Microchem. J.* **107**, 126–130 (2013).
 35. Roeselers, G., Zippel, B., Staal, M., Van Loosdrecht, M. & Muyzer, G. On the reproducibility of microcosm experiments - different community composition in parallel phototrophic biofilm microcosms. *FEMS Microbiol. Ecol.* **58**, 169–178 (2006).
 36. Lee Taylor, D. & Sinsabaugh, R. L. The Soil Fungi. in *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* 77–109 (Elsevier, 2015). doi:10.1016/b978-0-12-415955-6.00004-9.
 37. Yang, Y., Dou, Y., Huang, Y. & An, S. Links between soil fungal diversity and plant and soil properties on the Loess Plateau. *Front. Microbiol.* **8**, 2198 (2017).
 38. Pagano, L. *et al.* Risk stratification for invasive fungal infections in patients with hematological malignancies: SEIFEM recommendations. *Blood Reviews* vol. 31 17–29 (2017).
 39. Gałazka, A. & Gawryjolek, K. Glomalin - soil glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungus. *Postępy Mikrobiol.* **54**, 331–343 (2015).
 40. Goethals, L. & Verschuren, D. Tracing ancient animal husbandry in tropical Africa using the fossil spore assemblages of coprophilous fungi: a validation study in western Uganda. *Veg. Hist. Archaeobot.* 1–18 (2019) doi:10.1007/s00334-019-00760-3.
 41. Schink, B. & Stams, A. J. M. M. No Title. in 471–493 doi:10.1007/978-3-642-30123-0_59.