

Łódź, dnia 05.09.2025

Dr hab. Edyta Kiedrzyńska, Prof. ERCE PAN

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

ul. Tylna 3, 90-364 Łódź,

tel. (+48 42) 681 70 07,

e-mail: e.kiedzynska@erce.unesco.lodz.pl

Katedra UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej

Wydział Biologii i Ochrony Środowiska

Uniwersytetu Łódzkiego

ul. Banacha 12/16, 90-237 Łódź

tel. +48 42 635 44 38

e-mail: edyta.kiedzynska@biol.uni.lodz.pl

Recenzja

**w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne
dr Magdalenie Toporowskiej**

Recenzję wykonano w związku z pismem Pana Prof. dr hab. Tomasza Mieczana - Przewodniczącego Rady
Dyscypliny Nauki Biologiczne Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, z dnia 08.07.2025 r., w którym ww.

Rada Naukowa wyznaczyła mnie na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania

Pani dr Magdalenie Toporowskiej stopnia doktora habilitowanego.

Tytuł osiągnięcia:

**„Wpływ metabolitów sinicowych na funkcjonowanie wybranych grup hydrobiontów:
toksyczność, interakcje, biodegradacja”**

Podstawowe informacje o kandydatce

W roku 2005, dr Magdalena Toporowska obroniła pracę magisterską pt.: „Fitoplankton hipertroficznego Jeziora Syczyńskiego na Wyżynie Lubelskiej” i uzyskała tytuł magistra inżyniera ochrony środowiska na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt Akademii Rolniczej w Lublinie. Stopień doktora nauk biologicznych Habilitantka uzyskała w 2011 roku na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II za rozprawę doktorską pt. „Struktura fitoplanktonu oraz wpływ jego toksycznych gatunków na wybrane zoohydrobionty w hipertroficznym Jeziorze Syczyńskim”. Rozprawa przygotowana została w Katedrze Hydrobiologii Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie pod opieką promotorki Pani Prof. dr hab. Barbary Pawlik-Skowrońskiej.

W latach 2009 - 2020 dr Magdalena Toporowska związana była z Katedrą Hydrobiologii Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, najpierw jako starszy technik (lata 2009-2012), a później jako specjalista inżynierjno-techniczny (lata 2013-2020). Równocześnie od roku 2016 do 2020 dr Toporowska była zatrudniona jako wykładowca w Wyższej Szkole Społeczno-Przyrodniczej. Dr Toporowska była również zatrudniona w Katedrze Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, w Zakładzie Hydrobotaniki na Wydziale Biologii Środowiskowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie początkowo jako adiunkt w grupie pracowników dydaktycznych (okres 2019 – 2020), a następnie jako adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych (okres 2020 – obecnie).

Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą nadania stopnia doktora habilitowanego

Na osiągnięcie naukowe dr Magdaleny Toporowskiej, będące cyklem prac pod wspólnym tytułem „**Wpływ metabolitów sinicowych na funkcjonowanie wybranych grup hydrobiontów: toksyczność, interakcje, biodegradacja**”, składają się cztery artykuły opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych w latach 2018–2024. W jednej publikacji dr Toporowska występuje jako jedyny autor, w dwóch jest pierwszym i korespondencyjnym autorem, a w jednej – drugim autorem. Jej udział w powstaniu prac miał charakter wiodący i obejmował m.in. opracowanie lub współopracowanie koncepcji badań, realizację eksperymentów terenowych i laboratoryjnych, analizy ekotoksykologiczne, oznaczanie mikrocytyn metodą HPLC-PDA, analizy mikroskopowe fitoplanktonu i mikrobioty, pomiary chlorofilu-a, a także przygotowanie danych do analiz genetycznych i sekwencjonowania metagenomowego. Habilitantka była autorką kompleksowych analiz statystycznych, wizualizacji oraz interpretacji wyników, a także główną autorką manuskryptów.

Cele badawcze cyklu prac obejmowały określenie wpływu mieszanin metabolitów sinicowych, w tym wtórnych oligopeptydów produkowanych przez zespoły zdominowane przez *Planktothrix agardhii*, na biomasę tego gatunku, zawartość chlorofilu-a oraz profil oligopeptydów. Analizowano również oddziaływanie ekstraktów sinicowych na roślinę naczyniową – spirodelę wielokorzeniową (*Spirodela polyrhiza*) – w porównaniu z efektami wywoływanymi przez czystą mikrocytynę-LR (MC-LR). Kolejnym obszarem badań była charakterystyka struktury mikrobioty *Spirodela polyrhiza* po ekspozycji na różne warianty mikrocytyn (MC-RR, MC-LR i MC-LF) oraz procesy biodegradacji tych toksyn, zarówno w obecności rośliny gospodarza, jak i mikrobioty funkcjonującej samodzielnie.

W badaniach zastosowano szeroki wachlarz metod, obejmujący eksperymenty ekotoksykologiczne, analizy chemiczne toksyn sinicowych z użyciem HPLC-PDA i LC-MS/MS, badania mikroskopowe, analizy chlorofilu-a oraz zaawansowane analizy statystyczne. Uzupełnieniem było przygotowanie prób i wstępne analizy metagenomowe mikrobioty. Interdyscyplinarne podejście oraz współpraca z ekspertami z różnych dziedzin umożliwiły Habilitantce uzyskanie wszechstronnych i oryginalnych wyników, istotnie poszerzających wiedzę w obszarze ekologii i ekotoksykologii wód.

Impact Factor publikacji w momencie wydania wynosił od 1,525 do 8,1, a zgodnie z rokiem opublikowania od 0,000 do 3,39 (w dwóch przypadkach czasopisma utraciły IF – *Journal of Environmental Research and Public Health* oraz *Chemosphere*). Łączny IF osiągnięcia to 17,088 (wg roku publikacji – 4,655), a suma punktów MNiSW wynosi 440.

W skład osiągnięcia habilitacyjnego wchodzi cztery publikacje (Publikacje 1 - 4), które wyjaśniają następujące zagadnienia:

- 1) **Publikacja 1 (Pawlik-Skowrońska, Toporowska i in. 2018)** – dotyczy zagadnienia: „Wpływ mieszanin metabolitów z biomas zespołów sinic zdominowanych przez *P. agardhii* oraz czystej mikrocytyny-LR na rozwój makrofitu *Spirodela polyrhiza*”

Celem tej publikacji było zbadanie wpływu czystej mikrocytyny-LR oraz surowych ekstraktów uzyskanych z biomas sinic *Planktothrix agardhii* na młode, 72-godzinne rośliny makrofitu *Spirodela polyrhiza*. Badania te zostały podjęte w odpowiedzi na istniejącą lukę wiedzy dotyczącą oddziaływania mieszanin metabolitów sinicowych, zwłaszcza oligopeptydów innych niż

mikrocystyny, na rośliny wodne. Ekstrakty zastosowane w eksperymencie różniły się składem – ekstrakt Pa-A zawierał wyższe stężenie mikrocystyn, podczas gdy ekstrakt Pa-B, mimo 27-krotnie niższego stężenia mikrocystyn, był wzbogacony w inne bioaktywne oligopeptydy, takie jak anabaenopeptyny czy planktocyklina.

Habilitantka wykazała, że zarówno czysta mikrocystyna-LR, jak i oba ekstrakty ograniczały rozwój makrofitów, przy czym efekty były szczególnie wyraźne w odniesieniu do wzrostu liści i korzeni, a słabsze w przypadku zawartości chlorofilu-a. Co istotne, ekstrakt Pa-B wywołał silniejszy efekt toksyczny niż ekstrakt Pa-A, mimo że zawierał wielokrotnie niższe stężenie mikrocystyn. Wyniki te jednoznacznie wskazują, że toksyczny wpływ na *S. polyrhiza* wynikał nie tylko z obecności mikrocystyn, ale również z oddziaływania innych oligopeptydów sinicowych. Zahamowanie wzrostu i rozwoju spiroideli było więc konsekwencją synergicznego działania mieszaniny metabolitów wtórnych i związków obecnych w ekstraktach.

Innowacyjność badań polegała na pierwszym kompleksowym zastosowaniu ekstraktów sinicowych o zdefiniowanym profilu oligopeptydowym w badaniach nad makrofitami. Pozwoliło to na uchwycenie wpływu metabolitów innych niż mikrocystyny, których toksyczność wobec roślin wodnych była dotąd praktycznie nieudokumentowana. Wyniki te wniosły nową wiedzę do ekologii sinic, wskazując, że degradacja i zanik populacji makrofitów w zbiornikach zdominowanych przez sinice mogą być w znacznym stopniu wynikiem działania złożonych mieszanin oligopeptydów, a nie tylko mikrocystyn.

Praca ta wnosi istotny wkład w naukę, pokazując, że toksyczność mieszanin metabolitów sinicowych wobec młodych makrofitów nie jest determinowana wyłącznie przez mikrocystyny, lecz w dużej mierze przez oligopeptydy inne niż mikrocystyny oraz przez ich wzajemne interakcje. Dzięki zastosowaniu ekstraktów o zdefiniowanych profilach oligopeptydowych wykazano, że nawet przy wielokrotnie niższych stężeniach mikrocystyn (wariant Pa-B) efekt toksyczny może być silniejszy niż w ekstraktach bogatszych w mikrocystyny (Pa-A), co podważa powszechną praktykę ekstrapolowania ryzyka wyłącznie z poziomu MC-LR. Tym samym praca przesuwa punkt ciężkości z oceny pojedynczych toksyn na podejście uwzględniające mieszaniny i ich działanie na kluczowe cechy życiowe makrofitów (wzrost liści, rozwój korzeni, biomasa, chlorofil-a).

W ujęciu aplikacyjnym wyniki dostarczają podstaw do rewizji strategii monitoringu i oceny ryzyka w ekosystemach zdominowanych przez sinice: wskazują na potrzebę oznaczania szerszego spektrum oligopeptydów oraz uwzględniania wczesnych stadiów rozwojowych makrofitów jako szczególnie wrażliwych bioindykatorów. Praca wyjaśnia również mechanizmy zaniku populacji makrofitów obserwowanego podczas zakwitów, co ma bezpośrednie znaczenie dla ochrony siedlisk, renaturyzacji i projektowania rozwiązań ekohydrologicznych minimalizujących skutki zakwitów sinic. Dzięki połączeniu podejścia eksperymentalnego z kontrolą profilu chemicznego ekstraktów, publikacja stanowi punkt odniesienia dla przyszłych badań nad toksykologią mieszanin oraz dla polityk zarządzania jakością wód.

- 2) **Publikacja 2 (Toporowska i in. 2020)** – dotyczy zagadnienia: „Wpływ mieszanin metabolitów z biomasy zespołów sinic zdominowanych przez *P. agardhii* na biomasę gatunku i zawartość w niej chlorofilu-a oraz oligopeptydów”

Celem tej publikacji było zbadanie wpływu ekstraktów wodnych uzyskanych z biomas kożuchów sinicowych zdominowanych przez *Planktothrix agardhii* na naturalną populację tego gatunku, pochodzącą z jeziora wschodniej Polski. Badania miały na celu określenie, w jaki sposób ekstrakty różniące się składem chemicznym i zawartością związków biogennych oddziałują na dynamikę biomasy, produkcję mikrocystyn oraz zmiany w profilu oligopeptydów.

Habilitantka wykazała, że ekspozycja *P. agardhii* na oba ekstrakty prowadziła do wzrostu biomasy i zawartości chlorofilu-a, a zjawisko to było przede wszystkim efektem uwalniania składników biogenych z komórek sinic, a nie działania wtórnych metabolitów, w tym mikrocystyn. Wysokie

stężenia mikrocystyn obecne w ekstraktach nie hamowały wzrostu *Planktothrix agardhii* i nie miały negatywnego wpływu na fizjologię tego gatunku. Stwierdzono także zmienność w składzie i względnym udziale poszczególnych oligopeptydów, co wskazuje na szybkie przesunięcia w liczebności chemotypów w obrębie populacji. Ponadto udowodniono, że najwyższy potencjał toksyczności *P. agardhii* występował w optymalnych warunkach wzrostu, prawdopodobnie związanych z samozacienieniem i ograniczeniem dostępności światła.

Innowacyjność badań polegała na pierwszym wykorzystaniu ekstraktów z naturalnych biomas *P. agardhii* różniących się składem chemicznym, co pozwoliło uchwycić złożone interakcje w naturalnych populacjach sinic toksynotwórczych, niedostępne w badaniach prowadzonych na szczepach laboratoryjnych. Wyniki te dostarczyły nowej wiedzy na temat roli składników biogenych i metabolitów wtórnych w regulacji dynamiki populacji oraz chemotypów *P. agardhii*, co ma istotne znaczenie dla zrozumienia mechanizmów toksyczności i zmienności zakwitów sinicowych.

Praca ta wnosi istotny wkład do nauki, pokazując, że wzrost biomasy *Planktothrix agardhii* w warunkach ekspozycji na ekstrakty z różnych biomas sinicowych nie wynika z obecności wtórnych metabolitów, takich jak mikrocystyny czy inne oligopeptydy, lecz jest przede wszystkim konsekwencją uwalniania składników biogenych zawartych w komórkach sinic. To odkrycie zmienia dotychczasowe spojrzenie na rolę mikrocystyn w dynamice populacji sinic, wskazując, że kluczowym czynnikiem regulującym rozwój zakwitów może być dostępność związków odżywczych uwalnianych podczas degradacji biomasy sinicowej. W pracy wykazano również, że naturalne populacje *P. agardhii* charakteryzują się dużą plastycznością chemotypową, czego dowodem były szybkie zmiany w składzie i względnym udziale oligopeptydów w odpowiedzi na działanie ekstraktów. Pokazuje to, że struktura chemotypowa populacji może ulegać dynamicznym przesunięciom pod wpływem związków rozpuszczonych w środowisku wodnym, co przekłada się na zmienność toksyczności zakwitów.

W szerszym ujęciu badania te dostarczają podstaw do lepszego zrozumienia mechanizmów utrzymywania się i toksyczności zakwitów sinicowych, a także podważają uproszczone założenia, że same mikrocystyny są bezpośrednim czynnikiem kontrolującym wzrost sinic. Praca wskazuje na konieczność integracji badań nad metabolitami wtórnymi i cyklem biogenów w celu rzetelnej oceny zagrożeń ekologicznych związanych z zakwitami. Wyniki te mają znaczenie aplikacyjne w kontekście monitoringu jakości wód i zarządzania ryzykiem ekologicznym, ponieważ dowodzą, że w ekosystemach zdominowanych przez sinice kluczowe może być śledzenie bilansu składników pokarmowych uwalnianych z biomas, a nie tylko stężenia samych toksyn.

3) Publikacja 3 (Toporowska 2022) – dotyczy dwóch zagadnień: „Struktura mikrobioty *S. polyrhiza* po ekspozycji na MC-RR, MC-LR i MC-LF” oraz „Biodegradacja MC-RR, MC-LR i MC-LF przez mikrobiotę *S. polyrhiza*”

Badania opublikowane w tej pracy miały na celu określenie wpływu trzech wariantów mikrocystyn (MC-RR, MC-LR i MC-LF) na strukturę mikrobioty *Spirodela polyrhiza* po dziewięciodniowej ekspozycji w środowisku ubogim w związki odżywcze. Był to pierwszy eksperyment ekotoksykologiczny, w którym analizowano nie tylko odpowiedź rośliny, lecz także rozwój związanych z nią konsorcjów mikroorganizmów. Dotychczas struktura mikrobioty *S. polyrhiza* była badana bardzo rzadko, a wiedza na ten temat – zwłaszcza w Europie – jest nadal ograniczona.

Habilitantka wykazała, że po 9 dniach ekspozycji konsorcja mikrobiologiczne *S. polyrhiza*, obejmujące bakterie i glony, różniły się znacząco od kontroli, w której rozwijały się niemal wyłącznie bakterie. Struktura tych zespołów upodabniała się do mikrobioty Lemnaceae w środowisku naturalnym, co potwierdzało ekologiczne znaczenie uzyskanych wyników. Analizy wykazały również, że MC-RR wywierała najsilniejszy efekt toksyczny wobec bakterii, redukując ich liczebność ponad dwukrotnie w porównaniu z wariantem z MC-LF, natomiast MC-LF była najbardziej toksyczna wobec *Chlorella sp.*

i *Navicula* sp.. Zaobserwowano również zmienność w oddziaływaniu poszczególnych wariantów toksyn na zielenicowe wiciowce, co sugeruje zróżnicowaną wrażliwość mikroorganizmów.

Innowacyjność badań polegała na pierwszym zastosowaniu długoterminowych eksperymentów z wykorzystaniem naturalnej mikrobioty *S. polyrhiza* do oceny wpływu różnych wariantów mikrocystyn. Wyniki wskazały, że struktura mikrobioty roślin wodnych może być szybko i znacząco modyfikowana przez obecność toksyn sinicowych oraz produktów ich degradacji, a efekt zależy od rodzaju toksyny, dostępności składników odżywczych oraz obecności rośliny gospodarza. Badania te otworzyły nową perspektywę dla rozpoznania interakcji między mikrocystynami a mikrobiotą makrofitów w warunkach środowiskowych. Badanie to stanowi istotny wkład w zrozumienie interakcji między mikrocystynami a mikrobiotą makrofitów oraz mechanizmów ekologicznych regulujących funkcjonowanie konsorcjów mikroorganizmów w ekosystemach wodnych. Praca ta wnosi nowe spojrzenie na ekologię mikrobioty *Spirodela polyrhiza*, pokazując, że jej struktura jest szczególnie podatna na działanie różnych wariantów mikrocystyn i szybko reaguje na zmieniające się warunki środowiskowe oraz obecność rośliny gospodarza. Wyniki wskazują, że niektóre warianty toksyn, takie jak MC-RR, mogą szczególnie silnie ograniczać liczebność bakterii, podczas gdy inne (MC-LF) oddziałują silniej na mikroorganizmy eukariotyczne, np. zielenice czy okrzemki. Takie zróżnicowane reakcje konsorcjów mikrobiologicznych dowodzą, że oddziaływanie mikrocystyn jest gatunkowo i funkcjonalnie specyficzne, a jego efekt zależy od kontekstu środowiskowego. Wnioski te mają duże znaczenie dla zrozumienia mechanizmów regulujących skład i funkcjonowanie mikrobioty makrofitów w ekosystemach wodnych. Pokazują, że mikrobiota roślin wodnych nie jest biernym odbiorcą toksyn, lecz dynamicznym komponentem ekosystemu, którego struktura może się szybko zmieniać i w konsekwencji wpływać na zdrowie i stabilność roślin gospodarzy. Otrzymane wyniki dostarczają nowych przesłanek do badań nad rolą mikrobioty w modulowaniu toksyczności zakwitów sinicowych, a także stanowią punkt odniesienia dla przyszłych badań nad odpornością i plastycznością konsorcjów mikroorganizmów w obliczu presji toksyn

4) Publikacja 4 (Toporowska i in. 2024) – dotyczy również dwóch zagadnień: „Struktura mikrobioty *S. polyrhiza* po ekspozycji na MC-RR, MC-LR i MC-LF” oraz „Biodegradacja MC-RR, MC-LR i MC-LF przez mikrobiotę *S. polyrhiza*”

Publikacja ta stanowiła kontynuację badań nad wpływem mikrocystyn MC-RR, MC-LR i MC-LF na mikrobiotę makrofitu *Spirodela polyrhiza*, jednak prowadzonych w odmiennych warunkach – w pożywce Steinberga bogatszej w składniki odżywcze i bez udziału rośliny gospodarza. Pozwoliło to na oddzielenie efektów związanych z obecnością rośliny od procesów zachodzących w samych konsorcjach mikroorganizmów. Profilowanie mikrobiomu oparte na sekwencjonowaniu ujawniło wysoką różnorodność taksonomiczną mikrobioty, obejmującą aż 478 grup na poziomie rodzaju. Dominował typ Proteobacteria (80–89% względnej liczebności), a kolejnymi liczenie reprezentowanymi były Bacteroidota i Firmicutes. Zidentyfikowano także rzadko wykrywane w środowisku naturalnym bakterie z grupy Verrucomicrobiota. Spośród wielu rodzajów szczególnie licznie reprezentowane były *Methylophilus*, *Chrysobacterium*, *Pseudomonas*, *Caulobacter*, *Rhizobium*, *Brevundimonas* i *Acidovorax*. Co istotne, wiele z wykrytych taksonów było wcześniej identyfikowanych jako zdolne do biodegradacji mikrocystyn, co wskazuje na potencjał oczyszczania środowiska poprzez aktywność mikrobioty związanej z makrofitami.

W przeciwieństwie do eksperymentu z rośliną gospodarzem (Publ. 3), w warunkach bogatszych w składniki odżywcze nie stwierdzono istotnych różnic w całkowitej liczebności bakterii pomiędzy wariantami z różnymi mikrocystynami. Analizy wskaźników różnorodności alfa i beta sugerowały jedynie subtelne przesunięcia w strukturze konsorcjów, a różnice dotyczyły głównie względnej liczebności wybranych rodzajów, takich jak *Methylophilus*, *Caulobacter*, *Brevundimonas*, *Hydrogenophaga* czy *Blastomonas*. Zaobserwowano natomiast, że MC-LF, wcześniej uznawana

za mniej toksyczną dla bakterii, wywierała silniejszy efekt wobec *Chlorella sp.*, co wskazuje na różnice w podatności poszczególnych grup mikroorganizmów.

Innowacyjność badań wynika z zastosowania sekwencjonowania nowej generacji do oceny zmian w mikrobiocie makrofitów pod wpływem mikrocystyn. Uzyskane wyniki po raz pierwszy jednoznacznie wskazały na obecność w mikrobiocie *S. polyrhiza* wielu taksonów bakteryjnych zdolnych do degradacji toksyn sinicowych. Badanie to stanowi ważny wkład w zrozumienie potencjału mikrobioty makrofitów w procesach samooczyszczania wód oraz mechanizmów ekologicznych determinujących odporność i funkcjonowanie mikroorganizmów w warunkach ekspozycji na mikrocystyny.

Praca ta wnosi istotny wkład w naukę, pokazując, że mikrobiota *S. polyrhiza*, nawet w nieobecności rośliny gospodarza, charakteryzuje się wysoką różnorodnością taksonomiczną oraz znacznym potencjałem biodegradacyjnym wobec mikrocystyn. Dzięki wykorzystaniu metod sekwencjonowania nowej generacji zidentyfikowano liczne taksony bakteryjne, wcześniej opisywane jako zdolne do rozkładu toksyn sinicowych. Wyniki te dowodzą, że mikrobiota związana z makrofitami może pełnić aktywną rolę w procesach samooczyszczania ekosystemów wodnych, a nie tylko stanowić element towarzyszący gospodarowi. Badania pokazały również, że wpływ mikrocystyn na strukturę konsorcjów mikrobiologicznych jest silnie modulowany przez dostępność składników odżywczych i warunki środowiskowe. W warunkach zasobniejszych w biogeny mikrobiota wykazywała większą odporność na obecność toksyn, co wskazuje, że nutrient status ekosystemu może warunkować skutki oddziaływania mikrocystyn na społeczności mikroorganizmów. Praca ta poszerza dotychczasowe rozumienie interakcji między toksynami sinicowymi a mikrobiotą i stanowi ważny krok w kierunku wykorzystania mikroorganizmów powiązanych z makrofitami jako potencjalnego narzędzia w bioremediacji wód. Wyniki wskazują, że mikrobiota makrofitów może odgrywać kluczową rolę w degradacji toksyn i ograniczaniu skutków zakwitów sinicowych, co ma istotne implikacje dla praktycznych strategii ochrony jakości wód.

Podsumowując część badań Dr Magdaleny Toporowskiej zaliczanych do osiągnięcia habilitacyjnego

- należy stwierdzić, że analizowane prace opierały się na oryginalnych i interesujących naukowo założeniach, których testowanie przeprowadzono w nowoczesny i poprawny metodycznie sposób. Wyniki i ich interpretacja wnoszą nową wiedzę do tematu wpływu metabolitów sinicowych na funkcjonowanie wybranych grup hydrobiontów. Wyniki badań Habilitantki stanowią cenny wkład w rozwój ekologii wód i ekotoksykologii wyjaśniając interakcje między sinicami, makrofitami i mikrobiotą. Badania Habilitantki wniosły także oryginalny i nowatorski wkład do wiedzy o roli mieszanin oligopeptydów sinicowych, biologii i ekotoksyczności *Planktothrix agardhii* oraz o mechanizmach biodegradacji mikrocystyn. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane wyniki nie tylko pogłębiają wiedzę z zakresu badań podstawowych, lecz także otwierają nowe perspektywy aplikacyjne, związane z rozwojem biotechnologii środowiskowych opartych na makrofitach i ich mikrobiocie, które mogą wspierać biologiczne metody oczyszczania wód z toksyn sinicowych.

Osiągnięcie przedstawione przez Habilitantkę spełnia wymagania ustawowe i wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny w prezentowanym zakresie tematycznym. Pokazuje również, że Habilitantka jest osobą dobrze przygotowaną do samodzielnego planowania i prowadzenia pracy naukowej oraz do organizowania własnego zespołu badawczego.

Ocena aktywności naukowej Dr Magdaleny Toporowskiej, w tym realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

I. Okres przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 2005–2010 Habilitantka odbyła studia doktoranckie na Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), realizując badania pod kierunkiem prof. dr hab. Barbary Pawlik-Skowrońskiej. W tym okresie odbyła staże naukowe w Stacji Badawczej Centrum Badań Ekologicznych PAN w Lublinie (2006, 2008), gdzie zdobyła doświadczenie w zakresie metod oznaczania cyjanotoksyn (mikrocystyn i anatoksyny-a) w fitoplanktonie, wodzie i tkankach ryb z zastosowaniem technik chromatograficznych. W 2007 roku zrealizowała staż w Zakładzie Fykologii Instytutu Botaniki PAN w Krakowie oraz konsultacje w Zakładzie Ochrony Wód Instytutu Ochrony Przyrody PAN, zdobywając umiejętności analizy fitobentosu i fitoplanktonu z wykorzystaniem okrzemek.

Była głównym wykonawcą projektu badawczego finansowanego przez MNiSzW (2008–2010), dotyczącego dynamiki cyjanotoksyn w hipertroficznym jeziorach. Aktywność naukowa w tym okresie zaowocowała publikacją dwóch prac z IF oraz trzech recenzowanych artykułów w czasopiśmie krajowym, a także udziałem w kilku projektach badawczo-usługowych realizowanych na zlecenie samorządu. Jej zainteresowania naukowe koncentrowały się na ekologii fitoplanktonu, produkcji cyjanotoksyn, wpływie sinic na hydrobionty oraz badaniach fitoperyfitonu.

II. Okres po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitantka kontynuowała działalność naukowo-badawczą w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie, najpierw na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt, a od 2019 roku na nowo utworzonym Wydziale Biologii Środowiskowej. Jej aktywność koncentrowała się na badaniach nad toksycznością mieszanin oligopeptydów sinicowych, interakcjami między sinicami, makrofitami a mikrobiotą, a także na mechanizmach biodegradacji mikrocystyn. Realizowała liczne eksperymenty ekotoksykologiczne, które dostarczyły nowej wiedzy na temat roli metabolitów sinicowych w kształtowaniu struktury i funkcjonowania ekosystemów wodnych.

W tym okresie Habilitantka uczestniczyła w wielu projektach badawczych, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych, pełniąc funkcje wykonawcy, głównego wykonawcy, a także kierownika zadań badawczych. Była zaangażowana w prace badawczo-usługowe prowadzone we współpracy z jednostkami samorządowymi i instytucjami ochrony środowiska, które dotyczyły monitoringu jakości wód oraz oceny ryzyka ekologicznego związanego z zakwitami sinic.

Znaczną część jej działalności stanowiły także liczne staże i pobyty naukowe w renomowanych ośrodkach zagranicznych: w 2014 roku w Istituto per lo Studio degli Ecosistemi CNR (Włochy), w latach 2015–2016 w Department F.-A. Forel for Environmental and Aquatic Sciences Uniwersytetu Genewskiego (Szwajcaria), w 2016 roku i ponownie od 2023 roku w Nature Research Centre (Litwa), a w 2022 roku na Uniwersytecie Palackiego w Ołomuńcu (Czechy). Zagraniczne doświadczenia pozwoliły jej rozwinąć kompetencje w zakresie metod biologii molekularnej, metabolomiki, zaawansowanej analizy metabolitów wtórnych sinic, a także badań nad mikrobiotą wodną i jej rolą w samooczyszczaniu środowiska.

Równolegle Habilitantka rozwijała współpracę z wieloma ośrodkami naukowymi w Polsce. Od 2012 roku współpracuje z Uniwersytetem Gdańskim w zakresie badań biologii i biotechnologii morskiej. Od 2014 roku prowadzi wspólne prace badawcze z Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej, a w latach 2015–2016 oraz ponownie od 2023 roku z Uniwersytetem Jagiellońskim w Krakowie, w obszarze metabolomiki i badań nad cyjanotoksynami. Jej aktywność obejmowała również współpracę z Uniwersytetem Adama Mickiewicza w Poznaniu (2018), Instytutem Ochrony Przyrody PAN w Krakowie (2019–2021), Uniwersytetem Mikołaja Kopernika w Toruniu (od 2019), Uniwersytetem Medycznym w Lublinie (od 2023) oraz Politechniką Lubelską (od 2023).

Dorobek naukowy Habilitantki po doktoracie obejmuje liczne publikacje w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, w tym wysoko punktowanych, oraz współautorstwo monografiach naukowych. Wyniki

jej badań zostały zaprezentowane na wielu konferencjach krajowych i zagranicznych. Otrzymała także liczne zaproszenia do współpracy w charakterze recenzenta od czasopism z bazy JCR oraz do recenzowania projektów naukowych. Jej osiągnięcia badawcze w tym okresie mają charakter zarówno poznawczy, jak i aplikacyjny. Badania Habilitantki wykazały m.in. znaczenie oligopeptydów innych niż mikrocystyny w toksyczności wobec makrofitów, potencjał mikrobioty makrofitów do biodegradacji mikrocystyn oraz mechanizmy odporności ekosystemów wodnych na presję toksyn sinicowych. Uzyskane wyniki nie tylko poszerzyły wiedzę z zakresu biologii i ekologii sinic, ale także stworzyły podstawy do rozwoju biologicznych metod ochrony i rekultywacji wód (bioremediacji) z udziałem makrofitów i ich mikrobioty.

Ponadto, badania Habilitantki koncentrują się na pięciu komplementarnych obszarach, które łączą perspektywę procesów ekosystemowych z oceną ryzyka środowiskowego i aplikacjami biotechnologicznymi:

A. Mechanizmy i konsekwencje zakwitów sinic w wodach słodkich – ze szczególnym uwzględnieniem roli metabolitów wtórnych (w tym oligopeptydów innych niż mikrocystyny) w oddziaływaniu na organizmy wodne. Po doktoracie rozwinęła i ugruntowała ten kierunek, obejmując: (i) diagnostykę przyczyn i dynamiki zakwitów, (ii) produkcję mikrocystyn i anatoksyny-a, (iii) identyfikację i ocenę toksykologiczną mieszanin oligopeptydowych. Wyniki – uzyskane we współpracy międzynarodowej i krajowej – opublikowano w czasopismach z IF; wykazały m.in. dominację *Planktothrix agardhii* oraz taksonów *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Dolichospermum* w Polsce, a także znaczenie złożonych mieszanin metabolitów w kształtowaniu toksyczności wobec zooplanktonu i makrofitów. Ten nurt badań realizowany jest we współpracy m.in. z: CNR (Włochy), University of Geneva (Szwajcaria), Palacký University (Czechy), Nature Research Centre (Litwa), Uniwersytetem Gdańskim, UMCS, UJ, IOP PAN oraz UAM.

B. Gatunki obce, inwazyjne i ekspansywne hydrobiontów – identyfikacja występowania, presji i potencjalnej toksyczności taksonów obcych/ekspansywnych (np. *Gonyostomum semen*, *Sphaerospermopsis aphanizomenoides*) oraz ich wpływu na funkcjonowanie ekosystemów i usługi ekosystemowe. Wykazano m.in. negatywny wpływ ekstraktów *G. semen* na *Daphnia magna* oraz obecność i dynamikę *S. aphanizomenoides* w zbiornikach Lubelszczyzny, co ma znaczenie dla monitoringu i zarządzania ryzykiem.

C. Struktura i dynamika zespołów fitoperyfitonu i fitobentosu – od badań podstawowych nad biofilmami i peryfitonem na trzcinie, po zastosowania wskaźników okrzemkowych w ocenie stanu ekologicznego. Prace łączą ujęcie „bottom-up/top-down” (presja troficzna, presja drapieżnicza) z oceną reakcji biocenozy na przekształcenia hydrologiczne i ładunki biogenów.

D. Ocena jakości wód powierzchniowych – integracja danych fizykochemicznych, biotycznych (fitoplankton, fitobentos) i toksykologicznych (cyjanotoksyny) do holistycznej diagnozy stanu wód płynących i stojących. Długofalowa współpraca z ośrodkami hydrologicznymi i toksykologicznymi zaowocowała szeregiem publikacji oraz wdrożeniami metodycznymi w projektach monitoringowych i badawczo-usługowych (m.in. dla samorządów).

E. Biokosmetologia – bezpieczeństwo stosowania, funkcje i oddziaływanie środowiskowe substancji kosmetycznych – nurt rozwinęty na styku badań i dydaktyki. Obejmuje przeglądy i syntezy dotyczące losów środowiskowych składników kosmetycznych, ich potencjalnych zagrożeń i ram bezpiecznego stosowania; potwierdzony dorobkiem rozdziałów monograficznych oraz publikacją przeglądową wysoko cytowaną w czasopiśmie *Women*.

Wszystkie powyższe kierunki spina wspólna oś metodologiczna: ekotoksykologia eksperymentalna (z wykorzystaniem *Spirodela polyrhiza* jako organizmu modelowego), analityka metabolitów wtórnych (HPLC-PDA/FLD, LC-MS/MS), narzędzia biologii molekularnej i profilowanie mikrobiomu (16S/metagenomika), a także analiza statystyczna i ekometryczna danych środowiskowych. Dzięki szerokiej współpracy międzyośrodkowej (Polska i zagranica) oraz projektom krajowym/międzynarodowym, wyniki badań Habilitantki mają charakter zarówno poznawczy (mechanizmy toksyczności i odporności, rola mikrobioty w degradacji mikrocystyn), jak i aplikacyjny (monitoring jakości wód, bioremediacja oparta na makrofitach i ich mikrobiocie, wsparcie decyzji w zarządzaniu ryzykiem ekologicznym).

Podsumowanie aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej jednostce naukowej

Dorobek Habilitantki obejmuje 33 publikacje w Web of Science (31 z IF), 9 prac recenzowanych spoza JCR oraz 10 rozdziałów w monografiach. Łączny Impact Factor jej publikacji wynosi 90,283, a punktacja MNiSW 2500 punktów. Jej prace cytowane były 806 razy (732 bez autocytowań), a h-index wynosi 17 (Web of Science, stan na 07.04.2025).

Dr Toporowska zatrudniona była w różnych jednostkach naukowych, uczestniczyła w licznych projektach badawczych, w tym krajowych i międzynarodowych (m.in. COST, NCN, DAINA), a także odbywała staże naukowe w renomowanych ośrodkach zagranicznych (Włochy, Szwajcaria, Litwa, Czechy). Powyższe fakty potwierdzają wypełnienie przez dr Magdalenę Toporowską konieczności realizowania aktywności naukowej w więcej niż jednej uczelni czy instytucji naukowej. W podsumowaniu tej części można ocenić, że aktywność naukowa Habilitantki w zupełności spełnia wymogi stawiane przed kandydatami do stopnia doktora habilitowanego.

Ocena dorobku Dr Magdaleny Toporowskiej pod względem osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzujących naukę

Osiągnięcia dydaktyczne

Habilitantka posiada wieloletnie doświadczenie dydaktyczne, zdobyte zarówno w okresie studiów doktoranckich, jak i po uzyskaniu stopnia doktora. Prowadziła ćwiczenia z monitoringu środowiska i ekotoksykologii wód, a w latach 2016–2020 zajęcia z zakresu higieny, botaniki kosmetycznej, mikrobiologii i talasoterapii, opracowując autorskie sylabusy modułów dydaktycznych. Od 2019 roku, jako adiunkt Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, prowadzi wykłady i ćwiczenia w języku polskim i angielskim w pełnym wymiarze pensum. Jej zajęcia obejmują m.in. ochronę środowiska, ekologię mikroorganizmów wodnych, ocenę oddziaływania inwestycji na środowisko i ekotoksykologię. Aktywnie angażuje studentów w badania naukowe – pod jej opieką powstały trzy prace inżynierskie i pięć prac magisterskich, a także prace wyróżnione na ogólnopolskich i międzynarodowych konferencjach, m.in. dotyczące problemu mikroplastiku w kosmetykach.

Osiągnięcia organizacyjne

Habilitantka aktywnie uczestniczy w życiu organizacyjnym uczelni i środowiska naukowego. Dwukrotnie pełniła funkcję opiekuna roku kierunku Biologia, jest członkiem Rady Programowej Biokosmologii oraz brała udział w opracowaniu programu studiów II stopnia tego kierunku. Od 2014 roku jest członkiem Rady Naukowej Ośrodka Badań Hydrobiologicznych CIBiN w Lublinie, a od 2021 roku – członkiem Rady Dyscypliny Nauki Biologiczne UP w Lublinie. Od 2020 roku pracuje w Komisji ds. ewaluacji i podziału subwencji na badania naukowe. Współorganizowała projekty i wydarzenia naukowe o znaczeniu krajowym i międzynarodowym, m.in. *European Multi Lake Survey* (2015), Ogólnopolskie Warsztaty Sinicowe (2015), XXIII Ogólnopolskie Warsztaty Bentologiczne (2016) oraz 36. Międzynarodową Konferencję Fykologiczną (2017).

Działania popularyzujące naukę

Habilitantka aktywnie popularyzuje naukę i podnosi świadomość ekologiczną społeczeństwa. Prowadziła zajęcia i warsztaty w szkołach oraz brała udział w Lubelskim Festiwalu Nauki, prezentując wykłady i współorganizując projekty popularyzatorskie. Regularnie występuje w roli eksperta w mediach – m.in. w programie „Dzień dobry TVN”, w wywiadach prasowych i podczas debat poświęconych ochronie środowiska i katastrofom ekologicznym. Jest również autorką publikacji popularnonaukowych przybliżających problematykę sinic i jakości wód. Jej działalność dowodzi zaangażowania w kształcenie kolejnych pokoleń studentów, rozwój organizacyjny uczelni oraz upowszechnianie wiedzy naukowej wśród szerokiego grona odbiorców.

Konkluzja

Analiza osiągnięć naukowych zgłoszonych przez dr Magdalenę Toporowską oraz analiza pozostałego dorobku naukowego, aktywności naukowej, dydaktycznej, organizatorskiej oraz popularyzującej naukę pozwala stwierdzić, że wszystkie elementy dorobku Habilitantki spełniają wymogi stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego wg. art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571). Biorąc pod uwagę powyższe fakty popieram wniosek o nadanie dr Magdalenie Toporowskiej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne.

dr hab. Edyta Kiedrzyńska, Prof. ERCE PAN

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii
Polskiej Akademii Nauk