

AUTOREFERAT

*Edyta Fiałkowska
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Nauk o Środowisku
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków*

Kraków, 2022

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Edyta Fiałkowska

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

1992: mgr Biologii

„Eksperymentalne badania wybiórczości pokarmowej larw ważki *Aeschna cyanea*”

Promotor: prof. dr hab. Anna Czapik, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego

2014 dr nauk biologicznych, dyscyplina Ekologia

„Rola czynnika chemicznego i mechanicznego w wywoływaniu reakcji obronnej sinicy z rodzaju *Phormidium*”

Promotor: dr hab. Janusz Fyda, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

1993-1994 Instytut Farmakologii PAN w Krakowie, stażysta i pracownik inżynierijno-techniczny

Od 1994 Zespół Ekosystemów Wodnych, Instytut Nauk o Środowisku Wydziału Biologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, pracownik naukowo-technicznyⁱ

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.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

„Biologia grzybów drapieżnych odżywiających się wrotkami i ich znaczenie w oczyszczalniach ścieków”

1. Prace wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego:

H1. Pajdak-Stós A., Kocerba-Soroka W., Fyda J, Sobczyk M., Fiałkowska E. (2017) Foam-forming bacteria in activated sludge effectively reduced by different rotifers species. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(14): 13004-13011

mój udział w badaniach polegał na: pomocy w prowadzeniu eksperymentów, analizach mikroskopowych prób osadu i pracy przy przygotowaniu manuskryptu.

Mój wkład w powstanie pracy szacuję na: 10%

H2. Pajdak-Stós, A., Ważny, R., & Fiałkowska, E. (2016). Can a predatory fungus (*Zoophagus sp.*) endanger the rotifer populations in activated sludge? *Fungal Ecology*, 23, 75-78

mój udział w badaniach polegał na: współudziale w opracowaniu koncepcji badań, izolowaniu klonów grzybów i prowadzeniu hodowli, wykonaniu eksperymentów, udziale w opracowaniu wyników i przygotowaniu ostatecznej wersji manuskryptu.

Mój wkład w powstanie pracy szacuję na: 45%

H3. Fiałkowska E., Pajdak-Stós A. (2018) Temperature-Dependence of Predator-Prey Dynamics in Interactions Between the Predatory Fungus *Lecophagus sp.* and Its Prey *L. inermis* Rotifers. *Microbial Ecology* 75(2): 400-406

mój udział w badaniach polegał na: opracowaniu koncepcji badań, wyizolowaniu szczepu *Lecophagus sp.* i prowadzeniu hodowli, prowadzeniu eksperymentów, opracowaniu wyników, przygotowaniu ostatecznej wersji manuskryptu i pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.

Mój wkład w powstanie pracy szacuję na: 80%

H4. Fiałkowska E., Fiałkowski W., Pajdak-Stós A. (2020) The Relations Between Predatory Fungus and Its Rotifer Preys as a Noteworthy Example of Intraguild Predation (IGP). *Microbial Ecology* 79(1): 73-83

mój udział w badaniach polegał na: opracowaniu koncepcji badań, wyizolowaniu szczepu *Zoophagus sp.* i prowadzeniu hodowli, prowadzeniu eksperymentów, opracowaniu i interpretacji wyników i przygotowaniu ostatecznej wersji manuskryptu i pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.

Mój wkład w powstanie pracy szacuję na: 70%

H5. Fiałkowska E., Fiałkowski W., Ch. Wilson, Pajdak-Stós A. (XXX) Effects of polyaluminum chloride (PAX-18) on the relationship between predatory fungi and *Lecane rotifers*. *Environmental Science and Pollution Research*. (opublikowana on-line <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16952-2>)

mój udział w badaniach polegał na: opracowaniu koncepcji badań, opracowaniu metodologii i prowadzeniu hodowli grzybów, przeprowadzeniu eksperymentów, opracowaniu i interpretacji wyników, przygotowaniu ostatecznej wersji manuskryptu i pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.

Mój wkład w powstanie pracy szacuję na: 60%

Tło badań

Chociaż liczba wszystkich gatunków grzybów szacowana jest na 2,2 do 3,8 miliona, zaledwie 148 tysięcy zostało do tej pory zidentyfikowanych i opisanych. Szczególnie dużo uwagi poświęcono grzybom o dużym znaczeniu gospodarczym. Są wśród nich zarówno gatunki przynoszące szkody, powodujące choroby ludzi, roślin i zwierząt jak i takie których rola w gospodarce jest nieoceniona – grzyby wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, mleczarskim czy browarniczym. Stosunkowo dobrze poznaną grupą są również grzyby drapieżne polujące na nicienie, o potencjale aplikacyjnym w walce z nicieniami pasożytniczymi.

Znacznie słabiej poznana jest niewielka, ale interesującą grupa grzybów drapieżnych, dla których głównym źródłem pokarmu są wrotki i, znacznie rzadziej, niesporczaki. Do tej pory opisano zaledwie kilka gatunków, głównie z wilgotnych środowisk takich jak mchy, maty sinicowe i butwiejące liście przy brzegach zbiorników wodnych. Tylko w jednej z wcześniejszych prac wspomniano o *Zoophagus insidians* jako organizmie występującym w osadzie czynnym i mogącym polować na wrotki. Te właśnie grzyby zwróciły moją szczególną uwagę w trakcie prowadzenia badań dotyczących osadu czynnego. Z prób pochodzących z różnych oczyszczalni ścieków wyizolowałam kilkanaście szczepów różnych grzybów. Analizy mające na celu określenie przynależności gatunkowej każdego z nich jeszcze nie zostały zakończone, ale wstępne wyniki sugerują, że przynajmniej kilka z nich to gatunki do tej pory nieopisane. Wyniki swoich badań, pokazujących, że grzyby polujące na wrotki występują nawet w 40-50% oczyszczalni ścieków, przedstawiałam w formie plakatu „The diversity of fungi preying on rotifers in wastewater treatment plants” na konferencji EcoSummit 2016 we Francji. Jak się okazuje obecność takich grzybów w oczyszczalniach może znacząco wpływać na biocenozę osadu czynnego a tym samym na jego działanie.

Biologiczne oczyszczalnie ścieków działają w oparciu o metodę osadu czynnego polegającą na zintensyfikowanej hodowli zespołów mikroorganizmów reprezentujących różne poziomy troficzne w napowietrzanych reaktorach. Zadaniem osadu jest mineralizacja związków organicznych i usuwanie związków biogenych. Wśród mikroorganizmów osadu czynnego dominują heterotroficzne bakterie, zarówno jednokomórkowe jak i nitkowate. Oprócz nich osad tworzą liczne pierwotniaki, a także wrotki, nicienie, skąposzczety i niesporczaki. Dzięki zdolności mikroorganizmów do wzajemnych oddziaływań, w osadzie tworzą się tzw. kłaczkosady, w których skład wchodzi bakterie, cząstki organiczne i mineralne, a także kolonizujące powierzchnię kłaczek osiadłe orzęski. W dobrze funkcjonującym osadzie kłaczkosady są stosunkowo duże i zwarte, z niewielkim udziałem bakterii nitkowatych, co ułatwia ich sedymentację, a tym samym umożliwia odseparowanie osadu czynnego od oczyszczonego ścieku.

Jednym z najczęstszych problemów eksploatacyjnych w oczyszczalniach ścieków jest nadmierny rozwój bakterii nitkowatych będący przyczyną tzw. puchnięcia osadu. Rozwijające się bakterie nitkowate, występujące pomiędzy kłaczkami osadu utrudniają, a w skrajnych przypadkach wręcz uniemożliwiają sedymentację osadu. We wcześniejszych badaniach wykazano, że wrotki z rodzaju *Lecane*, odżywiające się bakteriami nitkowatymi, mogą skutecznie ograniczać zjawisko puchnięcia osadu (Fiałkowska i Pajdak-Stós, 2008). W oparciu o te badania opracowana została nowatorska, biologiczna metoda ograniczania puchnięcia osadu, która uzyskała patent polski i europejski (Pajdak-Stós i Fiałkowska, 2012, 2014).

W świetle badań pokazujących jak ważne są wrotki dla prawidłowego funkcjonowania oczyszczalni ścieków, pojawianie się w nich grzybów drapieżnych, niewiarygodnie wręcz skutecznych w wyłapywaniu wrotków, nabiera nowego znaczenia.

Cel badań:

Celem badań opisanych w pracach wchodzących w skład mojego osiągnięcia habilitacyjnego było poszerzenie wiedzy na temat bardzo słabo poznanej biologii grzybów odżywiających się wrotkami oraz zbadanie wpływu wybranych czynników biotycznych i abiotycznych na ich rozwój i potencjalny wpływ na biocenozę osadu czynnego.

Opis przeprowadzonych badań.

H1. Pierwszą z wymienionych prac zdecydowałam się włączyć do mojego osiągnięcia habilitacyjnego pomimo tego, że mój udział w jej powstaniu był znacznie mniejszy niż w przypadku pozostałych prac. W trakcie badań tu przedstawionych zajmowałam się głównie testowaniem możliwości zastosowania wrotków *L. inermis* pochodzących z prowadzonej przez nas hodowli jako narzędzia ograniczania puchnięcia osadu czynnego. Badania prowadzone były w oczyszczalni ścieków, w której cyklicznie pojawia się problem puchnięcia i pienienia osadu powodowany przez bakterie *M. parvicella* i Actinomycetes. Część badań obejmowała wprowadzanie bezpośrednio do komory napowietrzania zawiesiny wrotków w zagęszczeniu ok. 8000 osobników na mililitr. Wprowadzano je w odstępach tygodniowych w dwóch seriach: w lutym przy średniej temperaturze osadu około 9°C i na przełomie maja i czerwca przy średniej temperaturze osadu na poziomie 14,5°C. Analizy osadu czynnego według szacunkowej metody Eikelboom'a (Eikelboom, 2000) prowadziłam w odstępach dwutygodniowych przez okres jednego roku. Stwierdziłam, że miesiąc po wpuszczeniu pierwszej serii wrotków ich indeks w osadzie osiągnął 1 według skali Eikelboom'a, a później w ciągu kolejnych dwóch miesięcy spadł do zera. Ten wzrost liczebności wrotków w ciągu pierwszego miesiąca, mimo że niezbyt duży ze względu na stosunkowo niskie temperatury, znalazł odzwierciedlenie w wyraźnym spadku zagęszczenia Actinomycetes. Lepsze rezultaty obserwowałam po drugiej inokulacji rozpoczętej w maju, kiedy to indeks liczebności wrotków osiągnął wartość maksymalną. Jednocześnie indeksy zagęszczenia zarówno Actinomycetes jak i *M. parvicella* spadły do zera. Jednak w sierpniu przy temperaturach sprzyjających rozmnażaniu wrotków zanotowałam gwałtowny spadek ich liczebności, który skutkowało ponownym wzrostem liczebności bakterii nitkowatych w późniejszych miesiącach. W tym samym czasie kiedy liczebność wrotków w ciągu dwóch tygodni spadła ponad trzykrotnie, w analizowanych próbach osadu pojawiły się liczne fragmenty grzybni grzyba drapieżnego. Te właśnie obserwacje stały się punktem wyjścia mojego zainteresowania tymi organizmami, izolowania szczepów i wszystkich późniejszych badań dotyczących grzybów drapieżnych odżywiających się wrotkami i występujących w oczyszczalniach ścieków.

H2. W związku z tym, że wzajemne relacje organizmów tworzących osad czynny są słabo poznane, celem drugiej pracy wchodzącej w skład mojego osiągnięcia habilitacyjnego było sprawdzenie czy obecność grzybów drapieżnych w osadzie czynnym może znacząco wpływać na liczebność różnych gatunków wrotków. Do eksperymentów użyto szczepu grzyba drapieżnego, wcześniej wyizolowanego z osadu czynnego pochodzącego z oczyszczalni ścieków na południu Polski. Przeprowadzone badania genetyczne potwierdziły przynależność grzyba do rodzaju *Zoophagus*, z 91% zgodnością par zasad do sekwencji gatunku *Zoophagus insidians* zdeponowanej w NCBI (AB016009.2).

W pierwszym eksperymencie fragmenty grzybni dokarmiano wrotkami *Lecane inermis* (szczep 2.B3.20) również wcześniej wyizolowanymi z osadu czynnego. Medium stanowiła woda mineralna Żywiec. Po upływie doby medium wraz z nie złapanymi przez grzyba wrotkami delikatnie odciągnięto, a do studzienek wiano po 1 mL osadu czynnego zawierającego wrotki naturalnie w nim występujące. Kontrolę stanowiły studzienki bez grzybni. Eksperyment prowadzono przez osiem dni w ciemności w temperaturach 8, 15 i 20 °C, odzwierciedlających średni roczny rozkład temperatury w oczyszczalniach ścieków. Następnie liczono wrotki *L. inermis* i Bdelloidea. Wyniki pokazały, że obecność grzyba drapieżnego wyraźnie wpływała na liczebność zarówno *L. inermis* jak i Bdelloidea, przy czym wpływ ten jest różny w zależności od temperatury. W przypadku Bdelloidea ograniczający liczebność wpływ grzyba był najwyraźniejszy w temperaturze 15°C, ale także w temperaturze 20°C liczebność tych wrotków była istotnie niższa w obecności grzyba. Wpływ grzyba na liczebność *Lecane inermis* był jeszcze wyraźniejszy. Ich liczebność w obecności grzyba drapieżnego była ok. 5- i 20-krotnie niższa w porównaniu z kontrolą w temperaturze odpowiednio 15°C i 20°C. Obecność grzyba drapieżnego nie miała natomiast wpływu ani na Bdelloidea, ani na *L. inermis* w temperaturze 8°C. Jak pokazały wcześniejsze badania, tempo namnażania wrotków *Lecane* w temperaturze 8°C jest bliskie zeru (Fiałkowska i inni 2011). Z kolei grzyb *Zoophagus* sp. jako obligatoryjny drapieżnik, nie może się rozrastać jeżeli nie ma dostępnych wrotków. Prawdopodobnie więc brak wpływu obecności grzyba na liczebność wrotków w najniższej testowanej temperaturze był wynikiem złożenia dwóch czynników: słabo rozwiniętej grzybni z jednej strony i niskiej liczebności i/lub małej ruchliwości wrotków z drugiej.

W kolejnym eksperymencie sprawdzany był wpływ grzyba *Zoophagus* sp. na liczebność różnych gatunków wrotków w temperaturze optymalnej dla ich rozwoju. Do eksperymentu użyto klonów *Lecane inermis*, *Lecane hamata* i Bdelloidea. Wyniki jednoznacznie pokazały, że drapieżny grzyb wyraźnie ograniczał liczebność wszystkich testowanych wrotków, przy czym jego negatywny wpływ był najbardziej widoczny w przypadku *L. inermis*. Liczebność żywych wrotków w studzienkach kontrolnych była trzykrotnie wyższa niż w zabiegu z grzybem. W przypadku pozostałych dwóch gatunków różnice te były mniejsze, ale statystycznie istotne. Również wartości współczynnika tempa wzrostu populacji pokazały jak bardzo obecność grzyba drapieżnego ogranicza liczebność wrotków. Wartość ta dla *L. hamata* i Bdelloidea była prawie czterokrotnie wyższa w kontroli w porównaniu z zabiegiem. W przypadku *L. inermis* współczynnik tempa wzrostu w obecności grzyba drapieżnego był dwukrotnie niższy niż przy jego braku. Na podstawie otrzymanych wyników wyliczony został też czas podwojenia (t_D -doubling time) pokazujący jak szybko następuje podwojenie liczebności wrotków. Wskaźnik ten wynosił w zabiegu z grzybem 18.4 dni dla Bdelloidea, 22.4 dnia dla *L. hamata* i 2.8 dnia dla *L. inermis*, natomiast w kontroli odpowiednio 4.7, 5.6 oraz 1.6 dnia.

Jednym z parametrów określających działanie oczyszczalni ścieków jest tzw. wiek osadu (określający jak długo przeciętnie cząsteczka osadu czynnego pozostaje w bioreaktorze). Na ogół w oczyszczalniach utrzymywany jest wiek osadu w przedziale 10-25 dni. W tym czasie następuje wymiana osadu czynnego. Największe szanse na utrzymanie się w osadzie mają więc organizmy, których tempo wzrostu jest na tyle szybkie, że nie zostaną wypłukane wraz z odprowadzanym osadem. Przeprowadzone eksperymenty pokazują, że zarówno wrotki *L. hamata* jak i Bdelloidea z ich stosunkowo niskim tempem namnażania, w wielu oczyszczalniach nie będą w stanie się utrzymać, a obecność grzybów drapieżnych może dodatkowo zmniejszać ich szanse przetrwania. Z punktu widzenia działania oczyszczalni jest to o tyle niekorzystne, że brak Bdelloidea znajduje odzwierciedlenie w gorszej strukturze kłaczków, a tym samym w tempie ich sedymentacji. Inaczej przedstawia się sytuacja z *L. inermis*, które dzięki szybkiemu tempu namnażania ($t_D=2,8$ dnia) mogą utrzymywać się nawet przy wieku osadu krótszym niż 10 dni. Wyniki opisanych badań wskazują, że w warunkach sprzyjających namnażaniu tych wrotków (dostępność pokarmu i temperatura 20°C) będą one w stanie utrzymać się w osadzie nawet przy znacznej presji ze strony grzyba drapieżnego, chociaż ich liczebność będzie wówczas wyraźnie mniejsza, co z kolei może wpływać na ich zdolność do ograniczania zjawiska puchnięcia osadu.

H3. Temperatura jest jednym z ważniejszych czynników warunkujących dynamikę populacji jak i wzajemnych relacji organizmów tworzących osad czynny. Kolejnym krokiem w moich badaniach było sprawdzenie jak temperatura wpływa na dynamikę wzajemnych oddziaływań grzyba drapieżnego *Lecophagus* sp. i wrotków *Lecane inermis*. Ponieważ wcześniejsze badania pokazały, że liczebność *L. inermis* jest silnie ograniczana zarówno przez grzyby drapieżne jak i niską temperaturę, przystąpiłam do eksperymentu mającego na celu sprawdzenie wpływu temperatury na wzrost grzyba *Lecophagus* sp. , a także na podatność wrotków na oddziaływanie grzyba. Do eksperymentów użyłam szczepu wyizolowanego z osadu czynnego. Ponieważ jego cechy morfologiczne były różne od opisanych dla znanych gatunków z rodzaju *Lecophagus*, zdecydowałam się pozostać przy nazwie rodzajowej. Ponieważ wcześniej wykazano, że większość wrotków w temperaturze 8°C traci zdolność rozmnażania, do eksperymentów użyto szczepu Lt2.B5, którego hodowla prowadzona była w temperaturze 8°C. Adaptacja tego szczepu do tak niskiej temperatury trwała dwa lata. Jego użycie pozwalało założyć, że wrotki przetrwają i będą aktywne w każdej z testowanych temperatur. W studzienkach płytek 24-dołkowych umieszczono po 1 konidium, oraz po 100 wrotków *L. inermis* i 1 mL wody Żywiec. Eksperymenty prowadzono w temperaturach 8, 15 i 20°C w ciemności. Po upływie 24 godzin w każdej studzience sprawdzono, czy konidium „złapało” wrotka (co umożliwił późniejszy rozwój grzybni) i policzono udział konidiów ze złapanym wrotkiem. Po kolejnych 24 godzinach

zmierzono konidia wraz z rozrastającą się grzybnią i procedura ta została powtórzona po kolejnych 24 godzinach.

Obserwacje przeprowadzone po 24 godzinach od rozpoczęcia eksperymentu pokazały wyraźną zależność zdolności konidiów do łapania wrotków od temperatury. W temperaturze 20°C procent konidiów, które złapały wrotka był najwyższy (80%), natomiast w temperaturze 8°C nie zaobserwowano żadnego konidium ze złapanym wrotkiem.. W temperaturze 15°C wynik był pośredni – ok.40% konidiów złapało wrotka.

Również średnie tempo wzrostu grzybni okazało się silnie zależne od temperatury. W najniższej temperaturze było ono bliskie zera i nie zmieniło się istotnie w trakcie eksperymentu. W temperaturze 20°C po upływie pierwszych 48 godzin było trzykrotnie wyższe niż w temperaturze 15°C. Po kolejnych 24 godzinach w temperaturze najwyższej tempo wzrostu znacząco spadło, natomiast w temperaturze 15°C tendencja była odwrotna – tempo wzrostu grzybni było wyższe, jednak nie tak wysokie jak przy najwyższej temperaturze. Aby sprawdzić, czy niedostatek pokarmu nie nakłada się na wpływ temperatury na tempo wzrostu grzyba, w czwartym dniu eksperymentu skontrolowano dostępność wrotków w studzienkach. Ponieważ wrotki, szczególnie w temperaturach 15 i 20 °C mnożyły się na tyle szybko, że ich liczba w studzienkach eksperymentalnych wzrastała mimo aktywności grzyba, w porównaniach posłużono się udziałami procentowymi wrotków aktywnych, nieaktywnych i złapanych na pułapki grzyba. Niezależnie od temperatury udział wrotków aktywnych był najwyższy i wynosił od 60% w temperaturze 20°C do prawie 100% w temperaturze 8°C. Procent wrotków nieaktywnych, podobnie jak złapanych, był najniższy i bliski zera w temperaturze 8°C, i nieznacznie wyższy w temperaturze 15°C, natomiast w temperaturze najwyższej wrotki nieaktywne stanowiły niecałe 40%, a złapane poniżej 10%.

Bezpośrednie obserwacje prowadzone w tym samym dniu pokazały, że w najwyższej temperaturze nowe konidia obecne były już w 73% studzienek, podczas gdy w niższych temperaturach *Lecophagus* nie produkował nowych konidiów. Trzy dni później nowe konidia były już obecne w 96% studzienek w 20°C i 50% studzienek w 15°C, natomiast w temperaturze najniższej nadal nie pojawiły się nowe konidia. Obserwacje konidiów w w najniższej eksperymentalnej temperaturze powtórzono jeszcze po 30 dniach i okazało się, że część konidiów od których rozpoczynano eksperyment zdegenerowała, ale w pozostałych studzienkach grzybnia jednak zaczynała się rozwijać i osiągała długość nawet do 4100µm.

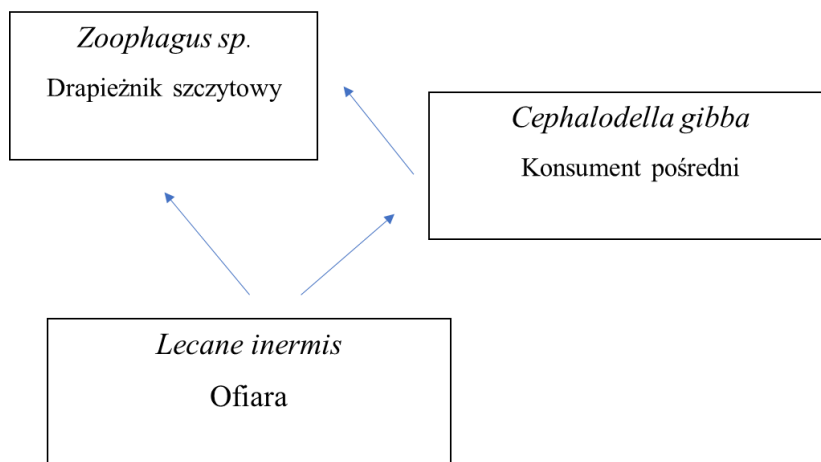
Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na silną zależność tak zdolności konidiów do łapania wrotków, jak i tempa rozwoju grzybni od temperatury. Temperatura 8°C bardzo wyraźnie ogranicza zdolność konidiów do produkowania pułapek i łapania wrotków. Można byłoby przypuszczać, że tak

mały procent konidiów, które w takich warunkach są w stanie złapać wrotka wynika z mniejszej aktywności wrotków w niższych temperaturach. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę, że pod koniec właściwego eksperymentu w czwartym dniu prawie 100% wrotków nadal było aktywnych, to nasuwa się wniosek, że to jednak nie brak dostępnego pokarmu odpowiada za tak mały sukces konidiów w polowaniu na wrotki. Wyższe temperatury najwyraźniej sprzyjały tworzeniu pułapek i wyłapywaniu wrotków, co z kolei znajdowało odzwierciedlenie w intensywnym wzroście grzybni. Niemniej jednak, w najniższej temperaturze część konidiów była w stanie złapać wrotki, co w konsekwencji prowadziło do rozrostu grzybni. Obserwacje te wskazują, że grzyby drapieżne w oczyszczalniach ścieków są w stanie przetrwać niekorzystne dla nich temperatury jakie dominują w okresie zimowym.

Interesująca okazała się dynamika wzrostu grzybni w temperaturze 15 i 20°C w kolejnych dniach eksperymentu. W temperaturze najwyższej tempo wzrostu było najwyższe w pierwszych 48 godzinach, a w kolejnej dobie znacząco zmalało. Odwrotną tendencję widać było w temperaturze 15°C, w której tempo wzrostu po upływie pierwszych 48 godzin nadal rosło. Wyniki te pokazują jak zależny od temperatury rozwój grzyba powiązany jest z cyklem życiowym jego ofiar. Spadek tempa wzrostu grzyba w najwyższej temperaturze mógł wynikać z szybko spadającego udziału aktywnych wrotków, a ten spowodowany był faktem, że szybko rosnący grzyb intensywnie na nie polował. W temperaturze 15°C procesy te były wyraźnie wolniejsze, dzięki czemu wyższe tempo wzrostu grzyba mogło się dłużej utrzymywać. Procesem, który mógł się dodatkowo przyczynić do szybkiego spadku tempa wzrostu przy najwyższej temperaturze była produkcja konidiów zaobserwowana już w czwartym dniu eksperymentu. Z literatury wynika, że wzrost temperatury i stężenia biogenów przyspiesza wzrost i produkcję konidiów u grzybów występujących w środowisku wodnym. Badany grzyb mógł pozyskiwać biogeny głównie ze złapanych wrotków, więc związany z wyższą temperaturą wzrost liczby łapanych wrotków prawdopodobnie przekładał się na produkcję konidiów. Tym samym można mówić o pośrednim wpływie temperatury na produkcję konidiów. Ponadto, jak sugeruje Smith (1978), wzrost grzybni i wytwarzanie konidiów są procesami komórkowymi, które konkurują o ograniczone zasoby, ale nie wykluczają się wzajemnie. Dlatego jeżeli wegetatywny wzrost i wytwarzanie konidiów nie występują jednocześnie, ograniczony wzrost może wynikać z braku biogenów, co w naszych badaniach wskazywałoby na to, że w 20°C grzyb wyczerpał większość dostępnych zasobów w ciągu pierwszych 48 godzin.

Opisane badania pokazały, że najbardziej stabilny układ drapieżnik (grzyb) – ofiara (wrotki) możliwy jest w temperaturze 15°C. W temperaturze 8°C wzrost grzybni limitowany jest głównie przez jej wewnętrzne tempo wzrostu zależne od temperatury, natomiast w temperaturze 20°C grzyby eksploatują populację wrotków tak intensywnie, że ich niedostatek wpływa ograniczająco na wzrost samych grzybów.

H4. Organizmy występujące w osadzie czynnym oprócz oddziaływań czynników fizycznych podlegają także wzajemnym oddziaływaniami takim jak drapieżnictwo czy konkurencja. Szczególnym przykładem wzajemnych oddziaływań jest drapieżnictwo wewnątrz gildii (IGP- intraguild predation). Gildia definiowana jest jako grupa organizmów korzystających z tych samych zasobów. Oddziaływania typu IGP łączą konkurencję i drapieżnictwo ponieważ gatunki konkurują ze sobą o te same, często ograniczone, zasoby, a także mogą czerpać korzyści z polowania na siebie nawzajem. W trakcie badań dotyczących funkcjonowania osadu czynnego znalazłam interesujący przykład takich oddziaływań pomiędzy dwoma gatunkami wrotków (*Cephalodella gibba* i *Lecane inermis*) i grzybem drapieżnym *Zoophagus* sp. W tym trzygatunkowym układzie eksperymentalnym wrotki *L. inermis* odżywiają się bakteriami nitkowatymi i jednokomórkowymi oraz biofilmem stanowiącym źródło pokarmu zarówno dla grzyba drapieżnego jak i wrotków *C. gibba*. Konsumentem pośrednim były *C. gibba*, które z jednej strony polowały na *L. inermis*, a z drugiej były ofiarami grzybów drapieżnych. Szczytowym drapieżnikiem był *Zoophagus* sp., polujący na oba gatunki wrotków.



Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie wpływu obecności drapieżnego grzyba na współczynnik wzrostu *C. gibba*, a także jednoczesnego wpływu obu organizmów drapieżnych na liczebność ich wspólnej ofiary. Badałam również wpływ obecności konkurencyjnego drapieżnego konsumenta na wzrost grzyba drapieżnego. Szczepy organizmów użytych w eksperymentach zostały wyhodowane z pojedynczych osobników wyizolowanych z prób osadu czynnego.

Pierwszy eksperyment pokazał bardzo silny wpływ drapieżnika szczytowego (*Zoophagus* sp.) na tempo wzrostu konsumenta pośredniego (*C. gibba*). W sytuacji kiedy *C. gibba* konkurowała o ofiarę z grzybem drapieżnym jej liczebność praktycznie nie uległa zmianie w trakcie eksperymentu. W układzie gdzie tej ofiary brakowało, żadne osobniki *C. gibba* nie przetrwały do końca eksperymentu. Wynikało to z faktu, że średnio dwa z trzech osobników zostały złapane przez grzyba, a pozostałe zginęły najprawdopodobniej z braku pokarmu. Z kolei przy nieograniczonej dostępności ofiary i braku

presji ze strony grzyba drapieżnego liczebność *C. gibba* szybko rosła a współczynnik tempa wzrostu (r) osiągnął 0.45.

Interesujące wyniki dało sprawdzenie liczby *C. gibba* upolowanych przez grzyba w sytuacji kiedy dostępne były wspólne ofiary. Średnia liczba osobników złapanych przez grzyba rosła w ciągu czterech dni, a następnie pozostawała na tym samym poziomie, pomimo tego, że w układzie ciągle były obecne aktywne wrotki, zarówno *L. inermis* jak i *C. gibba*. Efekt ten mógł być wynikiem „wysycenia” grzyba, którego wszystkie pułapki zostały „zablokowane” przez upolowane ofiary. W związku z tym, że wśród ofiar były tylko pojedyncze osobniki *C. gibba*, konkurencja o pokarm wydaje się mieć większy wpływ na populację konsumenta pośredniego niż drapieżnictwo.

Wpływ obecności drapieżnika szczytowego na konsumenta pośredniego widać również w liczbie jaj składanych przez *C. gibba*. W obecności grzyba drapieżnego liczba jaj w ostatnim dniu eksperymentu była trzykrotnie niższa niż wtedy kiedy presji drapieżnika szczytowego nie było, ale ciągle wyższa niż w sytuacji kiedy w układzie nie było dostępnych ofiar. Wyniki te wyraźnie pokazują, że dobrze rozróżnięta grzybnia grzyba drapieżnego może kontrolować populację konsumenta pośredniego na dwa sposoby: pośrednio poprzez ograniczanie zasobów pokarmowych i bezpośrednio poprzez drapieżnictwo.

Eksperymenty pokazały także ogromny wpływ obydwu, tak bardzo różnych pod względem biologii, morfologii jak i sposobu polowania, drapieżników na populację wspólnych ofiar. Tam, gdzie wrotki *L. inermis* podlegały presji każdego z drapieżników osobno, jak i tam gdzie obecne były jednocześnie obydwa drapieżniki, liczebność ofiar na końcu eksperymentu spadła średnio do kilku sztuk, podczas gdy w kontroli przekraczała ona wyjściową liczbę osobników.

W kolejnym eksperymencie sprawdzałam wpływ obecności konsumenta pośredniego na wzrost grzybni grzyba drapieżnego. Wyniki pokazały, że rozwój grzybni uzależniony jest od obecności w środowisku *L. inermis*. Jeżeli jedynym dostępnym źródłem pokarmu dla grzyba były wrotki *C. gibba*, długość grzybni nie ulegała zmianie. Wydaje się, że w tym wypadku polowanie na konsumenta pośredniego służy bardziej wyeliminowaniu konkurenta niż zdobyciu pokarmu. Jeżeli dostępne były wrotki *L. inermis*, grzybnia zaczynała się szybko rozrastać już w ciągu pierwszych 24 godzin, a pod koniec eksperymentu jej długość tam, gdzie nie było konsumenta pośredniego była prawie trzykrotnie większa niż tam gdzie grzyb konkurował z konsumentem pośrednim.

W obecności samego grzyba drapieżnego i w kontroli liczba aktywnych *C. gibba* malała. Natomiast kiedy dostępne były też wrotki *L. inermis* wzrastała zarówno liczba aktywnych jak i złapanych przez grzyba wrotków *C. gibba*. Wzrost liczebności konsumenta pośredniego przy jednoczesnym

ograniczeniu wzrostu grzybni, świadczy o tym, że polując na wspólne ofiary, konsument pośredni skutecznie zmniejsza dostępność ofiar dla grzyba drapieżnego. Eksperyment wykazał również, że szanse przetrwania ofiar pozostających pod jednoczesną presją ze strony drapieżnika szczytowego i konsumenta pośredniego są znacznie mniejsze niż kiedy jedynym drapieżnikiem jest *Zoophagus* sp. Końcowa liczebność *L. inermis* pozostających pod presją jedynie grzyba była wielokrotnie wyższa niż wtedy gdy pozostawały one pod presją obu drapieżników, co wskazuje na to, że to głównie drapieżne wrotki eliminowały ofiary. Można więc wysnuć wniosek, że *C. gibba* jest skuteczniejszym konkurentem niż grzyb drapieżny. Warto jednak podkreślić, że o ile *Zoophagus* sp. jest obligatoryjnym drapieżnikiem, o tyle *C. gibba* jest gatunkiem wszystkożernym mogącym odżywiać się także glonami czy wiciowcami, co prawdopodobnie w warunkach osadu czynnego oferującego zarówno inne źródła pokarmu dla *C. gibba*, jak i refugia dla ofiar pozwala na koegzystencję opisanych drapieżników w tym środowisku. Eksperymenty te były pierwszymi, w których opisano zjawisko drapieżnictwa wewnątrz gildii (IGP) pomiędzy przedstawicielami zwierząt i grzybów.

H5. Oprócz czynników biologicznych i fizycznych na organizmy tworzące osad czynny oddziałują też czynniki chemiczne. Celem przedstawionych tu badań było zbadanie wpływu polichlorku glinu (PAX-18), koagulantu często używanego w oczyszczalniach ścieków do zwalczania zjawiska puchnięcia osadu czynnego, na grzyby drapieżne i wrotki *L. inermis* oraz na ich wzajemne relacje. Obiektem badań były *L. inermis* i dwa szczepy grzybów drapieżnych z rodzajów *Lecophagus*. i *Zoophagus*. Grzyby te różnią się sposobem odżywiania. *Zoophagus* sp. jest obligatoryjnym drapieżnikiem, natomiast *Lecophagus* sp. oprócz łapania wrotków może też pobierać substancje pokarmowe ze środowiska.

W pierwszym eksperymencie badałam wpływ różnych stężeń PAX-u na zmiany liczebności *L. inermis*. Przygotowano roztwory PAX-u o stężeniach 1.2 mg Al³⁺L⁻¹, 6.0 mg Al³⁺L⁻¹ o pH=6.4 oraz 6.0 mg Al³⁺L⁻¹ o pH=7.0. Kontrolę stanowiła woda mineralna Żywiec standardowo używana jako medium w hodowlach wrotków. W ciągu siedmiu dni liczebność wrotków w kontroli wzrosła ośmiokrotnie, podczas gdy w roztworze PAX-u o stężeniu 6.0 mg Al³⁺L⁻¹ i pH= 7,0 wrotki co prawda przetrwały, ale ich liczba nie rosła. Nieznaczny wzrost obserwowany był w roztworze o 6.0 mg Al³⁺L⁻¹ i pH= 6.4. Natomiast w słabszym roztworze PAX-u liczebność wrotków po początkowym spadku wzrastała, a na końcu eksperymentu była jedynie minimalnie wyższa od liczebności początkowej.

W drugim eksperymencie sprawdzano jednoczesny wpływ PAX-u o różnych stężeniach i obecności każdego z grzybów osobno, na *L. inermis*. Okazało się, że wrotki pozostające pod jednoczesnym wpływem PAXu i presji ze strony grzybów drapieżnych mają niewielkie szanse na przetrwanie. W

zabiegu z *Zoophagus* sp. liczebność wrotków w trakcie eksperymentu spadła praktycznie do zera niezależnie od stężenia PAXu. Inaczej wyglądała sytuacja wrotków w obecności *Lecophagus* sp.; ich liczebność spadła prawie do zera w zabiegach z PAX-em o wyższych stężeniach. W niższym stężeniu PAX-u ($1.2 \text{ mg Al}^{3+}\text{L}^{-1}$) wrotki przetrwały, ale ich liczebność do końca eksperymentu utrzymywała się na poziomie niższym niż wyjściowy. Z kolei w kontroli po początkowym spadku liczba wrotków zaczęła stopniowo rosnąć.

Eksperyment wykazał też silny negatywny wpływ PAX-u na rozwój grzybów. Grzybnia *Lecophagus* sp. przy wyższym stężeniu PAX-u osiągała długość około $180 \mu\text{m}$ w ostatnim dniu eksperymentu, podczas gdy w kontroli w tym samym czasie osiągała trzydziestokrotnie większą długość. W stężeniu niższym ($1.2 \text{ mg Al}^{3+}\text{L}^{-1}$) grzybnia rosła, ale znacznie wolniej niż w kontroli. Również tworzenie nowych konidiów uzależnione było od stężenia PAX-u: nowe konidia pojawiały się zarówno w kontroli jak i przy niższym stężeniu PAX po 4 dniach, natomiast nie były produkowane przy wyższym stężeniu PAX. W przypadku *Zoophagus* sp., którego tempo wzrostu było generalnie znacznie szybsze niż w przypadku *Lecophagus* sp., sytuacja wyglądała podobnie; w wyższych stężeniach PAX-u obserwowano minimalny przyrost długości grzybni, istotnie większy przy niższym stężeniu PAX-u, ale nieporównywalnie niższy niż w kontroli, w której wzrost grzyba był tak szybki, że już w czwartym dniu nie było możliwości mierzenia przyrostów grzybni.

Aby sprawdzić, czy wykazany wpływ PAX-u na wzrost grzybów nie jest pośrednio wynikiem zmniejszonej w wyniku działania PAX-u dostępności ofiar, w następnym eksperymencie sprawdzałam skuteczność rozwiniętej grzybni, pozostającej wcześniej przez 10 dni pod wpływem PAX-u o różnych stężeniach, w wyłapywaniu świeżo podanych wrotków. Eksperyment pokazał wyraźną różnicę pomiędzy wrażliwością obu grzybów na działanie PAX-u. Grzybnia *Lecophagus* sp. pozostająca wcześniej pod wpływem PAX-u o wyższym stężeniu łapała statystycznie istotnie mniej ofiar niż kiedy pozostawała pod wpływem słabszego roztworu i w kontroli. Nie było natomiast różnic pomiędzy liczbą złowionych wrotków pomiędzy słabszym roztworem a kontrolą.

Zoophagus sp. okazał się znacznie mniej wrażliwy na działanie PAX-u i wyłapywał wrotki z jednakową skutecznością niezależnie od jego stężenia. Zależność zdolności łapania wrotków od stężenia PAX-u znalazła też odzwierciedlenie w liczbie aktywnych wrotków pozostałych przy życiu po upływie 24 godzin. Najwięcej było ich w wyższym stężeniu PAX-u, przy czym w obecności *Lecophagus* sp. było ich ponad dwukrotnie więcej niż w obecności *Zoophagus* sp. Tak w kontroli, jak i słabszym roztworze pozostały jedynie pojedyncze wrotki niezależnie od tego który grzyb był testowany.

W związku z tym, że konidia uważane są za bardziej odporne na warunki środowiskowe, a jednocześnie odpowiadają za rozprzestrzenianie grzybów w środowisku, sprawdzałam też ich

odporność na łączne działanie braku pokarmu i wyższych stężeń PAX-u. Konidia każdego z grzybów umieszczono oddzielnie w następujących warunkach: kontrola – woda Żywiec, PAX -6.0 mg Al³⁺L⁻¹ i PAX 12 mg Al³⁺L⁻¹. Po upływie 20 dni podano wrotki i po trzech godzinach sprawdzono ile z nich zostało złapanych. Procedurę powtórzono po 35 i 65 dniach. Okazało się, że jednoczesny wpływ braku pokarmu i działania PAX-u doprowadziły do prawie całkowitego zaniku zdolności łapania wrotków przez konidia *Lecophagus* sp. W każdym z badanych terminów liczba łapanych wrotków w kontroli była wyższa niż w zabiegach z PAX-em, ale były to ilości bardzo niskie. Z kolei konidia *Zoophagus* sp. okazały się być bardziej odporne na działanie PAX-u. Zarówno po 20 jak i 35 dniach liczba łapanych wrotków była wyższa niż w przypadku *Lecophagus* sp. i nie różniła się pomiędzy kontrolą a zabiegami z PAX-em. Dopiero w 65 dniu eksperymentu liczba łapanych wrotków wyraźnie spadła, ale nadal nie było istotnych różnic pomiędzy kontrolą a zabiegami. Ten eksperyment potwierdził, że *Lecophagus* sp. jest mniej odporny na działanie PAX-u, co może być związane z jego zdolnością do pobierania substancji odżywczych ze środowiska, wynikającą z różnic w budowie i przepuszczalności ściany komórkowej. Ponadto okazało się, że oba, badane grzyby są bardzo odporne na brak ofiar w środowisku – ich konidia nawet po ponad trzech miesiącach pozostawania w środowisku bez dostępnych ofiar nadal są zdolne do łapania wrotków, kiedy te ponownie pojawią się w środowisku. Nawet jeżeli tylko niewielki procent konidiów po takim okresie głodzenia zaczyna wytwarzać pułapki i łapać wrotki to z pewnością wystarczy do rozwoju grzybni.

2. Opis pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Inne kierunki w badaniach grzybów drapieżnych

Moje zainteresowania biologią grzybów drapieżnych mogłam rozwinąć dzięki odbytemu w Anglii stażowi w czasie którego, pod kierunkiem dra Christophera Wilsona, zapoznałam się z podstawami izolowania szczepów, prowadzenia hodowli grzybów drapieżnych oraz identyfikacji rodzajów grzybów w oparciu o cechy morfologiczne. Razem z dr Wilsonem prowadziliśmy też wstępne eksperymenty dotyczące rodzajów wrotków na które polują grzyby drapieżne. Zdobyte tam doświadczenie pozwoliło mi na zastosowanie poznanych metod do pozyskiwania szczepów grzybów z oczyszczalni ścieków i prowadzenia na nich kolejnych badań. Celem kontynuowanej współpracy z dr Wilsonem, niestety spowolnionej przez pandemię, jest poznanie filogenezy wyizolowanych przeze mnie gatunków grzybów z rodzajów *Zoophagus* i *Lecophagus*. Uzyskane do tej pory wyniki wskazują na obecność w tej grupie nowych dla nauki gatunków.

Kolejne badania z moim udziałem doprowadziły do opisanie skomplikowanej sieci troficznej złożonej z *Zoopagus insidians*, bakterii, bakteriofagów i wrotków *Lecane*. Badania te pokazały, że związane z grzybem bakterie mogą przemieszczać się pomiędzy wnętrzem grzybni a złapanym wrotkiem. Obserwacje te wskazują, że zarówno grzyby jak i bakterie mogą korzystać z nutrientów pochodzących ze złapanej ofiary. Co więcej, niektóre z symbiotycznych bakterii wyizolowanych z wnętrza grzybni mają zdolność znacznego ograniczenia ruchliwości wrotków, co sugeruje ich udział w unieruchamianiu wrotków złapanych na pułapki grzyba (Turnau et al. 2021).

Równoległe rozpoczętym przeze mnie kierunkiem badań są zależności pomiędzy grzybami drapieżnymi a innymi grzybami, określanymi terminem nadpaszytów. Moje badania wykazały, że np. *Clonostachys rosea* tworzy formy drożdżoidalne i wnika do wnętrza grzybni *Z. insidians*. Wstępne eksperymenty pokazują, że pod wpływem grzybów pasożytniczych grzyby drapieżne tracą możliwość polowania na wrotki. W mojej dalszej pracy naukowej zamierzam kontynuować badania nad wciąż słabo poznanymi zagadnieniami dotyczącymi wzajemnych relacji grzybów drapieżnych i innych mikroorganizmów. Rozwój metod badawczych i ich powszechna dostępność w ostatnim dziesięcioleciu pozwala nam na zrozumienie wielu procesów zachodzących w przyrodzie, a dzięki temu opracowanie nowatorskich metod ochrony środowiska oraz usprawnienie procesów technologicznych.

3. Pozostałe kierunki badań

Moje zainteresowania badawcze oprócz opisanych zagadnień dotyczących ekologii grzybów drapieżnych skupiają się wokół dwóch głównych tematów: obron indukowanych u sinic, ekologii i wzajemnych zależności między organizmami występującymi w osadzie czynnym. Badania aplikacyjne dotyczyły możliwości zastosowania wrotków *Lecane* do ograniczania zjawiska puchnięcia osadu czynnego.

Obrony indukowane

Liczne doniesienia o zakwitach sinic i problemach z usuwaniem sinic ze środowiska skierowały moją uwagę na poszukiwanie możliwości zwalczania sinic metodami biologicznymi, czyli przy pomocy ich naturalnych wrogów. Pierwsze badania dotyczące tego tematu skupiały się na sinicach nitkowatych tworzących gęste maty porastające dno zbiorników wodnych, a także często urządzenia hydrotechniczne. Udało nam się znaleźć i hodować orzęski wyspecjalizowane w zjadaniu sinic nitkowatych, ale w trakcie hodowli okazało się, że orzęski nigdy nie są w stanie zjeść całej dostępnej porcji sinic. Obserwacje te stały się punktem wyjścia do dalszych badań. Pierwsze eksperymenty przeprowadzone na dwóch różnych gatunkach sinic pokazały, że pod presją żerującego

na nich orzęska *Pseudomicrothorax dubius*, trychomy sinic aktywnie wycofują się wewnątrz pochewek, dzięki czemu stają się niedostępne dla orzęsków. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane w pracy: „*Inducible defence against a ciliate grazer, Pseudomicrothorax dubius, in two strains of Phormidium (Cyanobacteria)*” (Fiałkowska & Pajdak-Stós, 1997) i było to pierwsze doniesienie o indukowanej obronie morfologicznej i behawioralnej u sinic nitkowatych. Publikacja ta uzyskała I nagrodę w konkursie Towarzystwa Asystentów UJ na najlepszą pracę naukową w dziedzinie nauk biologicznych.

Odkrycie obrony indukowanej u sinic pozwoliło nam uzyskać grant KBN „Obrony indukowane u sinic” Badania realizowane w jego ramach wykazały, że sinica *Phormidium autumnale* w obecności trzech różnych żerujących na niej orzęsków broni się poprzez wycofanie trychomów w głąb grubej warstwy substancji egzopolisacharydowych (EPS), gdzie są one niedostępne dla orzęsków (Pajdak-Stós et al. 2001). W kolejnych badaniach pokazaliśmy, że sinica z rodzaju *Phormidium* jest w stanie modyfikować sposób obrony w zależności od presji konsumenta (Fiałkowska i Pajdak-Stós 2002). Badaliśmy także sinicę *Nostoc muscorum* wiążącą wolny azot, w której cyklu życiowym występują ruchliwe hormogonia odgrywające istotną rolę w rozprzestrzeleniu i wchodzeniu w symbiozę z grzybami i roślinami. Okazało się, że to właśnie te ruchliwe hormogonia jako jedyne formy w cyklu życiowym są podatne na zjadanie przez orzęski (Pajdak-Stós et al. 2004).

W późniejszych badaniach prowadzonych na dwu i trzy poziomowych sieciach troficznych pokazaliśmy, że zamiana jednego gatunku orzęska na inny, wydawałoby się pełniących w środowisku podobną funkcję (konsumenta sinic nitkowatych) może prowadzić do istotnych zmian w całym zespole mikroorganizmów (Fyda et al. 2009). Kolejne badania dotyczące wzajemnych relacji między sinicami a ich konsumentami w trzy poziomowej sieci troficznej pokazały, że sinica (producent) tworząc zwarte maty chroniące ją przed orzęskami (konsumentami I rzędu) jednocześnie zapewnia im schronienie przed drapieżnymi orzęskami (konsumentami II rzędu), tym samym przyczyniając się do stabilizacji całego układu (Fyda et al. 2010). W innym układzie badaliśmy wpływ wrotków na skuteczność obrony sinic przed orzęskami. Obecność wrotków wyraźnie obniżała efektywność obrony sinic poprzez z jednej strony żerowanie na substancjach egzopolisacharydowych produkowanych przez sinice, a z drugiej poprzez rozluźnianie struktury maty sinicowej, co prowadziło do znacznie większej podatności sinicy na wyjadanie przez orzęski (Pajdak-Stós et al. 2020).

Innym badanym zagadnieniem była rola czynnika chemicznego i mechanicznego w wywoływaniu reakcji obronnej u sinicy z rodzaju *Phormidium*. Uzyskane wyniki wskazują na istnienie czynnika chemicznego pochodzącego od orzęsków, pod wpływem którego sinica ogranicza rozprzestrzenianie się trychomów i który stymuluje produkcję pochewek, co stanowi przygotowanie

do szybkiej i skutecznej reakcji obronnej w sytuacji kiedy dochodzi do bezpośredniego kontaktu pomiędzy sinicą o żerującym orzęskiem. Co więcej, czynnik ten jest specyficzny i wydzielany tylko przez orzęski wyspecjalizowane w odżywianiu się sinicami nitkowatymi (Fiałkowska i Pajdak-Stós 2014)

Ekologia i wzajemne zależności między organizmami osadu czynnego

Badania osadu czynnego zostały zapoczątkowane w trakcie realizacji projektu europejskiego Centrum Doskonałości UE pt „Wdrażanie badań podstawowych i stosowanych w zakresie nauk o środowisku dla dobra społeczności lokalnych”. Nasz zespół podjął się opracowania zadania badawczego pt. „Mikroorganizmy w oczyszczaniu ścieków”. W ramach tego zadania razem z dr hab. Agnieszką Pajdak-Stós zajęliśmy się zagadnieniami związanymi z bakteriami nitkowatymi, które w oczyszczalniach ścieków bardzo często powodują pienienie i puchnięcie osadu czynnego. W związku z tym, że podjęty temat był całkowicie nowym kierunkiem badawczym, a w tym okresie w Polsce nie było specjalistów zajmujących się tym zagadnieniem, realizacja tego zadania wymagała znacznego poszerzenia wiedzy w tym zakresie. W tym celu odbyłam dwa staże w Instytucie Badawczym TNO w Holandii pod kierunkiem Dicka Eikelbooma. W czasie pierwszego stażu poznałam metody rozpoznawania i oznaczania bakterii nitkowatych występujących w oczyszczalniach komunalnych oraz podstawy ich biologii. W czasie drugiego stażu skupiałam się głównie na metodach identyfikacji bakterii nitkowatych, znacznie liczniejszych i trudniejszych do oznaczania, występujących w oczyszczalniach przemysłowych. Dalsze doświadczenie zdobywałam w trakcie kolejnego stażu, który odbyłam we Włoszech pod kierunkiem dr Valtera Tandoi w Water Research Institute w Rzymie. Staż ten poświęcony był z kolei metodom izolowania bakterii z prób osadu, oraz prowadzeniu hodowli i oznaczania bakterii w oparciu o metody molekularne (FISH). Zdobyta w trakcie stażów wiedza pozwoliła na przeniesienie doświadczeń z innych krajów na grunt polski, gdzie zapotrzebowanie na wiedzę dotyczącą funkcjonowania biologicznych oczyszczalni ścieków, działających w oparciu o metodę osadu czynnego, było w tym czasie ogromne. Rozpoczęliśmy współpracę z coraz liczniej powstającymi oczyszczalniami z całej Polski i wdrożyliśmy stosowaną na całym świecie metodę Eikelboom’a do oceny kondycji osadu czynnego na podstawie analizy mikroskopowej. Jednocześnie zaczęliśmy organizować warsztaty dla pracowników

oczyszczalni ścieków pt. „Mikroorganizmy osadu czynnego”, które do tej pory cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem i odbywają się cyklicznie raz lub dwa razy w roku. Nawiązaliśmy też współpracę z innymi zagranicznymi ośrodkami (Pedagogical Academy w Sumy (Ukraina), Department of Microbiology III, Uniwersytet w Madrycie, Department de Biologia Animal, Uniwersytet w Barcelonie) i we współpracy z naukowcami z tych uczelni oraz Dickiem Eikelboomem wydaliśmy podręcznik pt „Osad Czynny. Biologia i analiza mikroskopowa” (Fiałkowska et al. 2005), do którego dołączony jest interaktywny przewodnik na CD zawierającym liczne zdjęcia, filmy, i klucze do oznaczania bakterii. Ze względu na duże zapotrzebowanie ze strony odbiorców, we współpracy z wydawnictwem Seidel-Przywecki zostało przygotowane wydanie drugie i trzecie (poprawione i rozszerzone). Podręcznik został także wydany w wersji niemieckiej (Fiałkowska et al. 2017). Szeroko zakrojona współpraca z ośrodkami zagranicznymi zaowocowała też wspólnymi publikacjami (Pajdak-Stós et al. 2010, Kocerba-Soroka et al. 2013).

Badania prowadzone w ramach projektu były dla nas inspiracją do poszukiwania możliwości ograniczania puchnięcia osadu metodami biologicznymi. Z tego punktu widzenia najważniejszym osiągnięciem było znalezienie gatunków wrotków, naturalnie pojawiających się w osadzie czynnym, i zdolnych do odżywiania się bakteriami nitkowatymi. Przeprowadzone eksperymenty jasno pokazały, że wrotki *Lecane inermis* mogą znacząco redukować zagęszczenie bakterii nitkowatych *Microthrix parvicella* najczęściej odpowiedzialnych za zjawisko puchnięcia osadu i tym samym poprawiać właściwości sedymentacyjne osadu (Fiałkowska i Pajdak-Stós, 2008). Konsekwencją tego odkrycia było uzyskanie patentu polskiego pt. „Sposób ograniczania rozwoju bakterii nitkowatych w osadzie czynnym oraz zastosowanie wrotków w zapobieganiu jego puchnięciu” i międzynarodowego „The method of reducing excessive growth of filamentous bacteria in activated sludge and use of rotifers to prevent its bulking” (Pajdak-Stós & Fiałkowska 2012, Pajdak-Stós & Fiałkowska 2014)

Badania wrotków jako potencjalnego narzędzia do ograniczania rozwoju bakterii nitkowatych w osadzie czynnym kontynuowane były w ramach kolejnego projektu pt. „Ograniczanie puchnięcia osadu czynnego z wykorzystaniem wrotków (Rotifera)” w ramach programu Innowacyjna Gospodarka. Nasze badania skupiały się na poszukiwaniu klonów wrotków najbardziej „wydajnych” w wyżeraniu bakterii nitkowatych oraz najlepszych

warunków do ich rozwoju i prowadzenia hodowli. Eksperymenty z użyciem trzech różnych klonów *L. inermis*, pokazały, że ich tempo rozmnażania różni się w zależności od zastosowanego medium i najwyższe wartości osiąga w filtracie z osadu czynnego. (Pajdak-Stós et al. 2011). Wyniki te pozwalały założyć, że wprowadzanie wrotków z hodowli do oczyszczalni ścieków nie wpłynie znacząco na ich kondycję.

Z kolei badania nad wpływem temperatury na rozmnażanie wrotków, prowadzone w temperaturze 8, 15 i 20°C, odzwierciedlającej jej rozkład w osadzie czynnym w ciągu roku, pokazały że tempo rozmnażania było najwyższe dla wszystkich przebadanych klonów w temperaturze 20°C. Wyraźnie niższe, ale również podobne dla poszczególnych klonów tempo wzrostu obserwowane było w temperaturze 15°C. Największe różnice pomiędzy klonami stwierdzono w temperaturze najniższej, w której część klonów przestawała się rozmnażać, a u pozostałych tempo wzrostu było znacznie niższe niż w 20°C (Fiałkowska et al. 2011).

Wpływ temperatury na skuteczność wrotków w usuwaniu bakterii nitkowatych został przetestowany w badaniach na próbach osadu czynnego pochodzących z różnych oczyszczalni w których dominowały bakterie nitkowate z gatunków *Microthrix parvicella* i *Nostocoida limicola*. Obie bakterie usuwane były z osadu znacznie efektywniej w wyższej temperaturze, podczas gdy w 8°C efektywność wrotków była bardzo niska (Pajdak-Stós i Fiałkowska, 2012). W kolejnych badaniach wykazaliśmy też, że wrotki mogą usuwać również bakterie Typ 021N (Kocerba-Soroka et al. 2013a) i Typ 0092 (Drzewicki et al. 2015), a także że namnażające się w osadzie wrotki poprawiają jego właściwości sedymentacyjne jednocześnie nie wpływając negatywnie na inne parametry osadu (Kocerba-Soroka et al. 2013b).

Prowadzone w ramach projektu badania zaowocowały też opracowaniem metody masowej hodowli wrotków na co uzyskaliśmy patent polski „Sposób masowej hodowli wrotków z rodzaju *Lecane*, zwłaszcza wykorzystywanych w ograniczaniu puchnięcia osadu czynnego w oczyszczalniach ścieków.” (Pajdak-Stós et al. 2017) i międzynarodowy “The method of mass culture of *Lecane* rotifers” (Pajdak-Stós et al. 2017).

Wiedza zdobyta w trakcie realizacji opisanych badań posłużyła do przygotowania projektu badawczo-rozwojowego w ramach programu Generator Eko-innowacji współfinansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Narodowe Centrum

Badań i Rozwoju. Projekt „Gekon” pt. „Zintegrowany system ograniczania puchnięcia osadu w oczyszczalniach ścieków” był realizowany wspólnie z firmą Biospekt Badania i Edukacja Sp. z o.o. W prowadzonych badaniach wykazaliśmy, że wrotki gatunku *Lecane tenuiseta* jako lepiej przystosowane do niskich temperatur mogą odgrywać ważną rolę w usuwaniu bakterii nitkowatych z osadu w sezonie zimowym, a ponadto są zdolne do usuwania bakterii z grupy Actinomycetes, które w oczyszczalniach są szczególnie uciążliwe (Fiałkowska et al. 2016). Zdolność do ograniczania Actinomycetes została też później potwierdzona u innych gatunków z rodzaju *Lecane*, a eksperymenty przeprowadzone w oczyszczalni ścieków pokazały skuteczność wrotków w ograniczaniu problemów powodowanych przez te bakterie (Pajdak-Stós et al. 2017).

W ramach tego projektu udoskonalona została metoda masowej hodowli wrotków. Jednym z elementów badań było opracowanie metody selekcji szczepów bakterii które mogą być używane jako bakterie probiotyczne w hodowli wrotków (Fiałkowska et al. 2019). Prowadzono też przedwdrożeniowe testy metody ograniczania puchnięcia przy pomocy wrotków w kilku oczyszczalniach ścieków. Ponadto, współpracując z oczyszczalniami ścieków z różnych rejonów Polski wykonaliśmy około 1000 analiz osadu czynnego, a uzyskane wyniki stanowiły podstawę do opracowywanego systemu informatycznego Biolan, którego celem była optymalizacja procesu oczyszczania ścieków i monitoring pracy oczyszczalni. Analiza zebranych danych pozwoliła też na krytyczne porównanie różnych metod oceny kondycji osadu czynnego (Sobczyk et. al. 2018).

Akumulacja metali śladowych w organizmach wodnych

Oprócz opisanych już badań brałam też udział w międzynarodowych badaniach dotyczących akumulacji metali śladowych w organizmach wodnych. Jedne z tych badań prowadzone były na zmieraczku plażowym (*Talitrus saltator*) występującym na plażach polskiego wybrzeża. Analizy organizmów zebranych na 13 stanowiskach rozmieszczonych wzdłuż wybrzeża Bałtyku pokazały, że biodostępność metali śladowych (Cu, Zn, Fe, Mn) zależy od położenia stanowiska, natomiast stężenia kadmu, ołowiu i niklu zakumulowanych w tkankach nie różniły się istotnie między stanowiskami. Porównanie wyników uzyskanych w odstępie dwóch lat dla stanowisk wzdłuż brzegów Zatoki Gdańskiej pokazało, że stężenia

cynku, kadmu i manganu zmalały w odróżnieniu od rosnących stężeń ołowiu (Fiałkowski et al. 2000). Z kolei badania prowadzone na gatunku *Gammarus fossarum*, występującym z rzecze Białej Przemszy której zlewnia obejmuje tereny kopalń cynku i ołowiu na Śląsku pokazały, że najwyższe stężenia metali występowały w organizmach z doptywów do których odprowadzana była woda z odwadniania kopalń i procesu flotacji. Znaczne ilości kadmu doprowadzane były z wodami strumienia odbierającego wodę z procesu przeróbki rudy ołowiu. Natomiast niewielkie różnice w stężeniach miedzi pomiędzy stanowiskami wskazywała na brak punktowych źródeł zanieczyszczeń tym metalem (Fiałkowski et al. 2003).

Literatura (bez prac wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego):

1. Drzewicki, A., Kowalska, E., Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E., Kocerba-Soroka, W., Sobczyk, Ł., & Fyda, J. (2015). Experimental Attempt at Using *Lecane inermis* Rotifers to Control Filamentous Bacteria Eikelboom Type 0092 in Activated Sludge. *Water Environment Research*, 87(3), 205-210
2. Eikelboom, D.H. (2000) Process control of activated sludge plants by microscopic investigation. IWA publishing, London
3. Fiałkowska, E.; Pajdak-Stós, A. (1997) Inducible defence against a ciliate grazer, *Pseudomicrothorax dubius*, in two strains of *Phormidium* (cyanobacteria). *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Sciences* 264: 937-941
4. Fiałkowska, E.; Pajdak-Stós, A. (2002) Dependence of cyanobacteria defense mode on grazer pressure. *Aquatic Microbial Ecology* 27: 149-157
5. Fiałkowska, E., Fyda, J., Pajdak-Stós, A., Wiąckowski, K. (2005) Osad czynny: biologia i analiza mikroskopowa. Oficyna Wydawnicza IMPULS, Kraków
6. Fiałkowska, E., Fyda, J., Pajdak-Stós, A., Wiąckowski, K. (2017) *Belebtschlamm: Biologie und mikroskopische Untersuchung*. Seidel-Przywecki Publishers Ltd
7. Fiałkowska, E.; Pajdak-Stós, A. (2008) The role of *Lecane* rotifers in activated sludge bulking control. *Water Research* 42: 2483-2490

8. Fiałkowska, E., Kocerba W., Pajdak-Stós, A., Klimek, B., Fyda, J. (2011) Clonal variation in reproductive response to temperature by a potential bulking control agent, *Lecane inermis* (Rotifera). *Water Science and Technology* 64.2:403-408.
9. Fiałkowska, E., Pajdak-Stós, A. (2014) Chemical and mechanical signals in inducing *Phormidium* (Cyanobacteria) defence against their grazers. *FEMS Microbiology Ecology*: 89(3), 659-669
10. Fiałkowska, E., Pajdak-Stós, A., Fyda, J., Kocerba-Soroka, W., & Sobczyk, M. (2016). *Lecane tenuiseta* (Rotifera, Monogononta) as the best biological tool candidate selected for preventing activated sludge bulking in a cold season. *Desalination and Water Treatment*, 1-8
11. Fiałkowska, E., Klimek, B., Marchlewicz, A., Kocerba-Soroka, W., Starzycka, J., Walczyńska, A., Pajdak-Stós, A. (2019) Diversity and function of the microbial community under strong selective pressure of rotifers. *Journal of Basic Microbiology* 59(8): 775-783
12. Fiałkowski, W., Fiałkowska, E., Rainbow, P.S, Smith, B.D. (2000) Biomonitoring of trace metals along the Baltic coast of Poland using the sandhopper *Talitrus saltator* (Montagu) (Crustacea: Amphipoda). *Ophelia* 52(3): 183-192
13. Fiałkowski, W., Fiałkowska, E., Smith, B.D., Rainbow, P.S. (2003) Biomonitoring survey of trace metal pollution in streams of a catchment draining a zinc and lead mining area of Upper Silesia, Poland using the amphipod *Gammarus fossarum*. *International Review of Hydrobiology* 88 (2): 187-200
14. Fyda, J., Nosek, J., Wiąckowski, K., Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E. (2009) Effects of grazers' species identity on cyanobacteria in bitrophic and tritrophic food webs. *FEMS Microbiology Ecology* 68: 329-339
15. Fyda, J., Fiałkowska, E., Pajdak-Stós, A. (2010) Dynamics of cyanobacteria-ciliate grazer activity in biotrophic and tritrophic microcosms. *Aquatic Microbial Ecology* 59: 45-53
16. Kocerba-Soroka W., Fiałkowska E., Pajdak-Stós, A., Klimek, B., Kowalska, E., Drzewicki, A., Salvado, H., Fyda J.(2013a) The use of rotifers for limiting filamentous bacteria Type 021N, a bacteria causing activated sludge bulking. *Water Science and Technology* 67(7): 1557-1563

17. Kocerba-Soroka, W., , Fiałkowska, E., Pajdak-Stós, A., Sobczyk, M., Pławecka, M., Fyda, J. (2013b) Effect of the rotifer *Lecane inermis*, a potential sludge bulking control agent, on process parameters in a laboratory-scale SBR system. *Water Science and Technology* 68(9): 2012-2018
18. Pajdak-Stós, A.; Fiałkowska, E.; Fyda, J. (2001) *Phormidium autumnale* (Cyanobacteria) defense against three ciliate grazer species. *Aquatic Microbial Ecology* 23: 237-244
19. Pajdak-Stós, A.; Fiałkowska, E.; Fyda, J. (2004) Vulnerability of *Nostoc muscorum* agardh (Cyanophyceae) motile hormogonia to ciliate grazing. *Journal of Phycology* 40: 271-274
20. Pajdak-Stós, A., Kocerba, W., Fiałkowska, E., Klimek, B., Fyda, J. (2011) The effect of medium on selected life-history traits in three clones of *Lecane inermis* (Rotifera) from activated sludge. *Water Science and Technology* 63 (9): 2071-2076
21. Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E. (2012) The Influence of Temperature on the Effectiveness of Filamentous Bacteria Removal from Activated Sludge by Rotifers. *Water Environment Research* 84 (8): 619-625
22. Pajdak-Stós, A. & Fiałkowska, E. (2012) „Sposób ograniczania rozwoju bakterii nitkowatych w osadzie czynnym oraz zastosowanie wrotków w zapobieganiu jego puchnięciu”, Pat. 217732
23. Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E. (2014) The method of reducing excessive growth of filamentous bacteria in activated sludge, the process of reducing the bulking of activated sludge and use of naturally occurring organisms in the activated sludge to prevent its bulking” EP 08848179.1
24. Pajdak-Stós, A., Fiałkowski, W., Fiałkowska, E (2020) Rotifers weaken the efficiency of the cyanobacterium defence against ciliate grazers. *FEMS Microbiology Ecology* 96(11): 1-7
25. Smith, J.E. (1978) Asexual sporulation in filamentous fungi. In: Smith JE, Berry DR (eds) *The filamentous fungi* vol. 3. Arnold, London, p. 214-239
26. Sobczyk, M., Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E., Kocerba-Soroka, W., Starzycka-Giża, J., Fyda, J., (2018) Interaction Between a Bacterivorous Ciliate *Aspidisca cicada* and a Rotifer *Lecane inermis*: Doozers and Fraggles in Aquatic Flocs. *Water Science and Technology* 78(10): 2104-2112

27. Turnau, K., Fiałkowska E., Ważny R., Rozpądek P., Tylko G., Bloch S., Nejman-Faleńczyk B., Grabski M., Węgrzyn A., Węgrzyn G (2021) Extraordinary multi-organismal interactions involving bacteriophages, bacteria, fungi, and rotifers: Quadruple microbial trophic network in water droplets. *International Journal of Molecular Sciences* 22(4): 1-24
28. Pajdak-Stós, A., Fiałkowska, E., Fyda, J., Babko, R. (2010) Resistance of nitrifiers inhabiting activated sludge to ciliate grazing. *Water Science and Technology* 61 (3): 45-53

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

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Charakter mojego zatrudnienia (specjalista naukowo-techniczny) nie przewiduje prowadzenia zajęć dydaktycznych. Tym niemniej, często jestem zapraszana do prowadzenia różnego rodzaju kursów i szkoleń, również indywidualnych. Część z tych kursów odbywa się cyklicznie (jedna lub dwie edycje) co roku. Pomagałam także przy prowadzeniu prac magisterskich i doktorskich, co znalazło odzwierciedlenie we współautorstwie powstałych publikacji. Wykaz mojej działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej zawiera poniższa tabela.

	Działalność dydaktyczna	
1.	„Mikroorganizmy osadu czynnego” Warsztaty dla pracowników oczyszczalni ścieków Organizowane w ramach projektu INoŚ IBAES	2004- 2005
2.	„Mikroorganizmy osadu czynnego” Cykliczne warsztaty dla pracowników oczyszczalni ścieków organizowane przez firmę Biospekt, jedna lub dwie edycje rocznie	2005- 2021
3.	„Biologia i badanie osadu czynnego: Wybrane bakterie występujące w osadzie czynnym Bakterie nitkowate w osadzie czynnym - metody identyfikacji Ogólna ocena osadu czynnego” Warsztaty dla pracowników oczyszczalni ścieków Organizowane przez wydawnictwo Seidel-Przywecki w Warszawie	2009
4.	„Ocena ogólna osadu czynnego” W ramach kursu Mikrobiologia dla studentów Ochrony środowiska	2010- 2012
5.	“Microbiology of activated sludge” kurs dla doktorantów w ramach programu Ecology w INoŚ: “Creating English interdisciplinary graduate program in the area of ecology and enhancing the teaching potential of the academic staff at the Institute of Environmental Sciences of the Jagiellonian University”	2014
6.	Szkolenie indywidualne dla Arif Thaslim z Algatch z Trebonu. Pobór prób z jeziora, nauka technik izolacji mikroorganizmów, zakładanie i prowadzenie hodowli.	2017
	Pomoc prowadzeniu prac doktorskich	
1.	„Effect of laboratory cultured <i>Lecane rotifers</i> on bacteria Type 021N filaments and activated sludge parameters in SBR treatment plant model” Mgr Wioleta Kocerba-Soroka Promotor dr hab. Janusz Fyda	2012- 2017
2.	„Analysis of the possibility of using protozoa inhabiting activated sludge to evaluate the efficiency of wastewater treatment” Promotor dr hab. Janusz Fyda	2013- 2017

	Pomoc w prowadzeniu prac magisterskich	
1.	Wpływ dwóch konsumentów sinic na sukcesję w mikroekosystemie” Jacek Nosek (promotor dr hab. Krzysztof Wiąckowski)	2005- 2006
2.	Jednoczesny wpływ dwóch drapieżników o odmiennym sposobie polowania na liczebność orzęska <i>Colpidium colpoda</i> Anna Kapuścińska Promotor dr hab. Krzysztof Wiąckowski	2008- 2009
3.	Wpływ różnych stadiów życiowych widłonoga (Harpacticoida) na strukturę zbiorowiska pierwotniaków ” Wioleta Kocerba-Soroka Promotor dr hab. Krzysztof Wiąckowski	2008- 2009
4.	Analiza różnych parametrów hodowli wrotka <i>Lecane intermis</i> (Rotatoria, Lecanidae) w celu opracowania metody jego masowej hodowli Marcin Zielonka Promotor dr hab. Janusz Fyda	2008- 2009
6.	Wpływ wrotków <i>Lecane inermis</i> na bakterie nitkowate i biocenozę osadu czynnego oczyszczalni ścieków. Grzegorz Mańko Promotor dr hab. Janusz Fyda	2011- 2012
7.	Wpływ wrotków <i>Lecane inermis</i> na bakterie nitkowate osadu czynnego z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli. Monika Cudziło Promotor dr hab. Janusz Fyda	2012- 2013
8.	Wpływ wrotków <i>Lecane inermis</i> na biocenozę osadu czynnego z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli. Justyna Lach Promotor dr hab. Janusz Fyda	2012- 2013
9.	Wpływ temperatury na tempo wzrostu wrotków <i>Lecane inermis</i> pochodzących z dwóch geograficznie odległych populacji. Joanna Starzycka Promotor dr hab. Janusz Fyda	2013- 2014
10.	Wpływ orzęsków drapieżnych na biocenozę osadu czynnego The influence of predatory ciliates on activated sludge biocenosis Linda Czarnek-Ogrodnik Promotor dr hab. Janusz Fyda	2015- 2016
11.	Wpływ PAX-u i wrotków (<i>Lecane inermis</i>) na rozwój bakterii nitkowatych <i>Microthrix parvicella</i> i <i>Thiothrix</i> sp. w osadzie czynnym – eksperyment laboratoryjny. Wioleta Obara Promotor dr hab. Krzysztof Wiąckowski)	2017- 2018

	<i>Działalność dydaktyczno-popularyzatorska</i>	
1	Organizacja i udział w Festiwalu Nauki z ramienia Instytutu Nauk o Środowisku	2000-2004
2	Organizacja zajęć pt. „ Co każdy o śmieciach wiedzieć powinien” w szkole podstawowej nr 114 w Krakowie w ramach obchodów Dnia Ziemi	2007
3	„Na czym polega oczyszczanie ścieków” warsztaty dla szkoły podstawowej w Krakowie	2011
4	<i>Opieka merytoryczna nad projektem</i> uczniów Gimnazjum nr 2 w Krakowie pt. „Wpływ oczyszczalni ścieków w Nowym Wiśniczu na stan rzeki Leksandrówki	2014
5	Cykliczne wykłady i zajęcia laboratoryjne dla młodzieży szkół gimnazjalnych i licealnych: “Życie w kropli wody” “Mikroorganizmy osadu czynnego	2008-2015
6	Czego możemy się dowiedzieć o oczyszczalni badając osad pod mikroskopem? Zajęcia dla młodzieży w ramach cyklu: „Rozwiń skrzydła-nieograniczone możliwości” oraz w ramach zajęć organizowanych przez Krakowskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk i Sztuk	2015-2016
7	„Sprzymierzeńcy z mikroskopijnego świata” zajęcia dla gimnazjalistów z Jastrzębia	2017
8	„Sprzymierzeńcy z mikroskopijnego świata – strategie obronne organizmów” zajęcia z młodzieżą klas VIII i ILO z Jordanowa	2019
9	Noc Biologa - zajęcia z uczniami ze szkoły podstawowej w Krakowie, prezentacja orzęsków, sinic , wrotków i grzybów drapieżnych	2020
10.	Udostępnianie kultur pierwotniaków, sinic i wrotków dla szkół i na zajęcia ze studentami	

W ramach działań popularyzatorskich byłam współtwórcą filmu “Co i jak jedzą orzęski” prezentowanego na Festiwalu Filmów Naukowych w Krakowie, 2001, gdzie film został wyróżniony.

i.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

1. Artykuły popularno-naukowe:

2. *Pajdak-Stós A., Fiałkowska E. (2008) Dlaczego warto dbać o organizmy w osadzie czynnym?. www.wodkaneko.pl*

3. **Fiałkowska E.**, Pajdak-Stós A. (2008) Rola bakterii w osadzie czynnym. www.wodkaneko.pl
4. Pajdak-Stós A. **Fiałkowska E.** (2009) Pienienie osadu czynnego. *Forum eksploatatora* 4(43): 40-42.
5. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.** (2009) Analiza mikroskopowa osadu czynnego jako cenne narzędzie eksploatatora oczyszczalni ścieków. *Forum eksploatatora* 6(45): 30-31.
6. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.** (2009) Alternatywne metody zwalczania bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. *Forum eksploatatora* 5(44): 22-23.
7. **Fiałkowska E.**, Pajdak-Stós A. (2010) Prace nad nowatorskimi metodami zwalczania puchnięcia osadu otrzymują wsparcie z funduszy strukturalnych Innowacyjna Gospodarka. *Forum eksploatatora* 1 (46): 30.
8. Pajdak-Stós, A., **Fiałkowska, E.**, Fyda, J., & Babko, R. (2010). Jeszcze o nitryfikacji oczami biologa. Sukcesja nitrifikatorów w nowo otwartej oczyszczalni ścieków. *Nitrification as seen by a biologist. Succession of nitrifiers in newly open wastewater treatment plant. Forum Eksploatatora* 6 (51), 33-35.
9. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.** (2011) Efektywność wrotków w kontroli puchnięcia osadu w zależności od temperatury. *Forum eksploatatora* 5 (56) 9-10: 18-24.
10. **Fiałkowska E.**, Pajdak-Stós A., Pławecka M. (2011) Ograniczenie puchnięcia osadu czynnego metodą biologiczną. *Forum Eksploatatora* 1 (52): 24-26.
11. Sobczyk M., **Fiałkowska E.**, Klimek B., Kocerba-Soroka W., **Pajdak-Stós A.**, Fyda J. (2012) "Ograniczenie puchnięcia osadu czynnego w oczyszczalniach ścieków z zastosowaniem wrotków (Rotifera) – podsumowanie dotychczasowych wyników badań." *Forum Eksploatatora* 6 (63)
12. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.**, Kocerba-Soroka W., Sobczyk M., Starzycka J., Fyda J. (2016) Wrotki - wielofunkcyjne biologiczne narzędzie w oczyszczalniach ścieków *Forum Eksploatatora* 6 (87):18-20.
13. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.** (2019) Skuteczność wrotków *Lecanew* ograniczaniu rozwoju *Microthrix parvicella* i *Actinomycetes* – bakterii nitkowatych powodujących pienienie osadu. *Forum Eksploatatora* 1 (100).
14. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.** (2019) Ochrona zasobów wodnych – zadanie dla Małych i Dużych. *Nauka dla przyrody.*
15. Pajdak-Stós A., **Fiałkowska E.**, Bodek I., Rakus K., Pijanowski Ł. (2020) Wrotki *Lecane inermis* jako alternatywny żywy pokarm przeznaczony dla drobnych larw ryb. *Akwarium* 4/2020 (182): 72-79

2. Nagrody

1. 1993 - Nagroda I stopnia w konkursie im. Prof. M. Gieysztorza za pracę magisterską (Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne 1993)
2. 1998 - Pierwsza nagroda w konkursie Towarzystwa Asystentów UJ za najlepszą pracę naukową w sekcji nauk przyrodniczych za lata 1997-1998

3. 2001 Nagroda Prorektora UJ, za działalność organizacyjną
4. 2001- Wyróżnienie w konkursie na najlepszy film naukowy za film: „Co i jak jedzą orzeski”
5. 2002 - Nagroda w konkursie na najlepszy plakat naukowy na konferencji „Cyanofix Final Symposium” w Portugalii”
6. 2003- ” Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
7. 2006 - Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
8. 2010 - Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
9. 2014 - Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
10. 2014 – Złoty medal za wynalazek: „Metoda redukcji nadmiernego wzrostu bakterii nitkowatych w osadzie czynnym i użycia wrotków w zapobieganiu puchnięciu” XVII Międzynarodowy Salon Innowacji i Innowacyjnych Technologii “Archimedes”, Moskwa, Rosja,
11. 2014- Srebrny medal za długoletnią służbę
12. 2016 –Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
13. 2018 - Złoty medal za wynalazek „Biologiczna metoda ograniczania rozwoju bakterii nitkowatych w osadzie czynnym w oczyszczalniach ścieków” na międzynarodowych targach International Invention and Innovation Show INTARG POLAND, Katowice
14. 2019- Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową
15. 2021- Nagroda Rektora UJ, za działalność naukową

.....
(podpis wnioskodawcy)
