

Załącznik nr 2
Autoreferat

Dr Wojciech Pęczuła
Katedra Hydrobiologii
Uniwersytet Przyrodniczy
w Lublinie
ul. Dobrzańskiego 37
20-262 Lublin

1. Imię i Nazwisko

Wojciech Pęczuła

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

1994 – uzyskanie tytułu magistra ochrony środowiska, Wydział Filozoficzny, Katolicki Uniwersytet Lubelski, tytuł pracy magisterskiej: „Stan i znaczenie torfowisk w Polsce”, promotor: prof. dr hab. Anna Stańczykowska-Piotrowska (wyróżnienie Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego w konkursie im. Mariana Gieysztor na najlepszą pracę magisterską o tematyce hydrobiologicznej).

2001 – uzyskanie stopnia doktora nauk biologicznych w zakresie biologii, Wydział Rolniczy, Akademia Podlaska w Siedlcach (obecnie: Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach), tytuł rozprawy doktorskiej: „Fitoplankton jako wskaźnik zróżnicowania siedliskowego w płytkim jeziorze Płotycze na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim”, promotor: dr hab. Władysława Wojciechowska, prof. nadzw., recenzenci: prof. dr hab. Anna Stańczykowska-Piotrowska, prof. dr hab. Jan Matuła.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

1994 - 2001: asystent w Katedrze Biologii Środowiska i Ochrony Wód, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katolicki Uniwersytet Lubelski;

2001 - 2005: adiunkt w Katedrze Botaniki i Hydrobiologii, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katolicki Uniwersytet Lubelski;

2005 - obecnie: adiunkt w Katedrze Hydrobiologii, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Wybrane aspekty ekologii ekspansywnego gatunku fitoplanktonowego *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing w zbiornikach humusowych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa):

[1] Pęczuła W. 2013. Habitat factors accompanying the mass appearances of nuisance, invasive and alien algal species *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing in humic lakes of Eastern Poland. Polish Journal of Ecology 61: 535-543.

[IF=0,554; MNiSW=15]; *Udział 100%*.

[2] **Pęczuła W.**, Poniewozik M., Szczurowska A. **2013**. *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing bloom formation in nine lakes of Polesie region (Central-Eastern Poland). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 49: 301-308.

[IF=1,036; MNiSW=20]

Jestem autorem koncepcji pracy. Praca powstała w oparciu o wyniki uzyskane przez wszystkich współautorów, z czego ok. 50% wykorzystanych prób pochodziła z moich badań terenowych i analiz mikroskopowych. Jestem autorem wszystkich rycin i analiz statystycznych, współautorem tekstu pracy oraz zmian w procesie publikacyjnym, będąc jednocześnie autorem korespondencyjnym. Swój udział szacuję na 55%.

[3] **Pęczuła W.**, Szczurowska A. **2013**. Long term changes in the humic lake phytoplankton in response to the water level rising: the effects of beavers engineering on a freshwater ecosystem. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 410: 06, DOI:

10.1051/kmae/2013061

[IF=0,622; MNiSW=15]

Jestem autorem koncepcji pracy. Większość danych wykorzystanych w pracy (z wyjątkiem dwóch lat) było uzyskanych przeze mnie i obejmowały: pobór prób, pomiary parametrów fizyczno-chemicznych, analizy laboratoryjne chemiczne, analizy mikroskopowe fitoplanktonu, pozyskanie danych hydrologicznych i meteorologicznych. Jestem głównym autorem całego tekstu pracy, wszystkich analiz statystycznych, jak również wszystkich rycin. Mój udział szacuję na 95%.

[4] **Pęczuła W.**, Mencfel R., Kowalczyk-Pecka D. **2014**. Among-lake variation in vertical distribution of invasive, bloom-forming algal species *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in stratified humic lakes of eastern Poland. *International Review of Hydrobiology* 99: 317-325

[IF=1,013; MNiSW=25]

Jestem autorem koncepcji badań oraz publikacji. Prace terenowe prowadzone były z R. Mencfelem, który miał współudział także w laboratoryjnych analizach chemicznych. Analizy mikroskopowe fitoplanktonu zostały wykonane przeze mnie, natomiast analizy taksonomiczne zooplanktonu (stanowiące tylko jeden z aspektów pracy) przez D. Kowalczyk-Pecką. Redakcja tekstu, analizy statystyczne, grafika, poprawki w procesie publikacyjnym zostały wykonane wyłącznie przeze mnie. Swój udział szacuję na 80%.

[5] **Pęczuła W.**, Suchora M., Żukowska G. **2015**. The influence of glucose and peat extract additions on the spring recruitment of *Gonyostomum semen* from the sediments.

Hydrobiologia 744: 177-186.

[IF=2,212; MNiSW=30]

Jestem autorem koncepcji pracy oraz projektu eksperymentu. Przeprowadzenie eksperymentu, pobór prób terenowych oraz analizy chemiczne są współautorstwa mojego oraz M. Suchory (z wyjątkiem analizy koncentracji DOC, która została wykonana przez G. Żukowską). Analizy mikroskopowe fitoplanktonu zostały wykonane przeze mnie. Jestem autorem pierwszej wersji tekstu, wszystkich analiz statystycznych oraz rycin a także współautorem poprawek i zmian w procesie publikacyjnym. Swój udział szacuję na 75%.

Łączny Impact Factor prac stanowiących osiągnięcie naukowe = 5,437 (liczba punktów MNiSW = 105). We wszystkich w/w pracach byłem pierwszym autorem, pomysłodawcą badań, koncepcji publikacji oraz autorem korespondencyjnym. Mój średni udział wynosi 81 %.

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego stanowi cykl prac opublikowanych w latach 2013-2015 pod wspólnym tytułem: „**Wybrane aspekty ekologii ekspansywnego gatunku fitoplanktonowego *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing w zbiornikach humusowych**”.

Wytłuszczonym drukiem zaznaczono najważniejsze osiągnięcia zawarte w cyklu publikacji.

i) Wstęp

Zagadnienia związane z gatunkami obcymi, inwazyjnymi i ekspansywnymi znajdują się w centrum zainteresowania współczesnej ekologii, zwłaszcza w ostatnich dekadach, wraz z rosnącym znaczeniem takich problemów jak: globalne ocieplenie, spadek różnorodności biologicznej, fragmentacja siedlisk oraz introdukcje genetycznie modyfikowanych organizmów (Lodge 1993). Inwazje gatunków w środowiskach wodnych są równie częste jak w innych typach ekosystemów i najczęściej dotyczą takich grup hydrobiontów jak: skorupiaki, mięczaki, ryby i makrofity. Zjawisko to staje się również powszechne wśród mikroorganizmów wodnych, w tym cyjanobakterii i glonów planktonowych, choć jest trudniejsze do zaobserwowania w porównaniu do makroorganizmów (Sukenik i in. 2012, Korneva 2014). Jednym z najlepiej udokumentowanych przykładów fitoplanktonowego gatunku inwazyjnego w Europie jest tropikalna cyjanobakteria *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya et Subba Raju. Gatunek opisany został po raz pierwszy w Indonezji na początku XX w. (Wołoszyńska 1912), następnie był stwierdzany w latach trzydziestych XX w. w krajach Europy Południowej (Skuja 1937) zaś od lat siedemdziesiątych jest obecny w wodach wielu krajów Europy Zachodniej i Środkowej, w tym w Polsce (Burchardt 1977, Padiśák 1997). Obecnie, w drugiej dekadzie XX w., ten toksyczny gatunek znany jest z bardzo wielu stanowisk w Polsce (Kobos i in. 2013). Rozszerzanie zasięgu z południa w kierunku północnym oraz rosnąca częstotliwość tworzenia zakwitów przez *C. raciborskii* związane są głównie z ociepleniem klimatu (Pearl i Huisman 2009, Sukenik i in. 2012). Zwraca się ponadto uwagę na jego dużą ekologiczną plastyczność, która ułatwia temu gatunkowi ekspansję i przystosowywanie się do nowych warunków środowiskowych (Korneva 2014).

Nie wszystkie gatunki, które zwiększają częstotliwość pojawiania się lub tworzenia zakwitów na danym obszarze są gatunkami obcymi lub inwazyjnymi. Przykładem fitoplanktonowego organizmu tego typu może być *Gonyostomum semen* (Ehrenberg) Diesing, wiciowiec z klasy Raphidophyceae (Chloromonadophyceae) występujący w planktonie wód humusowych. Gatunek ten po raz pierwszy został opisany (jako *Monas semen*) przez Ehrenberga (1853) w próbie pochodzącej z mokradeł w okolicach Berlina (Niemcy). Następne doniesienia o jego obecności w XIX i XX w. dotyczą pojedynczych stanowisk w różnych częściach Europy (Korneva 2014). W późniejszych latach zaczęły pojawiać się doniesienia o tworzeniu przez *G. semen* zakwitów¹ - pierwsze tego typu zjawisko opisano w Stanach Zjednoczonych w pierwszej połowie XX wieku w małym dystroficznym zbiorniku w stanie Massachusetts (Drouet i Cohen 1935) a następnie w jeziorze Helgasjön w Szwecji (Sorenesen 1954, za: Lepistö i in. 1994). Zjawiska te przybrały na sile i stały się powszechne dopiero w ostatnich dekadach XX w., najpierw w jeziorach humusowych Szwecji, Norwegii, Finlandii, Estonii i północnej Rosji (Cronberg i in. 1988, Hongve i in. 1988, Lepistö i in. 1994, Laugaste i Nöges 2005, Korneva 2014), następnie na Łotwie, Litwie i w Polsce (Hutorowicz i in. 2006, Druvietis 2010, Karosiene i in. 2014) oraz sporadycznie w innych częściach Europy (Le Cohu i in. 1989, Negro i in. 2000).

Wraz ze stwierdzaniem coraz liczniejszego występowania, *Gonyostomum semen* w niektórych publikacjach uznawany był on za gatunek inwazyjny w Skandynawii (Hongve i in. 1988, Lepistö i in. 1994). W klasycznym rozumieniu inwazja biologiczna to proces który przebiega szybciej od normalnego procesu kolonizacji siedliska w wyniku sukcesji ekologicznej (Elton 1958). Termin ten powinien być więc zastrzeżony tylko dla gatunków obcych, które zwiększają swój zasięg geograficzny, zwiększając przy tym znacznie swoją liczebność i wywołując negatywne efekty środowiskowe lub gospodarcze (Colautti i Macisaac 2004). W przypadku *Gonyostomum semen* nie ma możliwości ustalenia jego wcześniejszej obecności w miejscach, w których obecnie tworzy zakwity, a więc uznania go za gatunek obcy (i inwazyjny). Przyczyniają się do tego takie trudności jak: nietrwałość komórek, które w próbach utrwalonych ulegają zniekształceniu, możliwość pomijania mało znanego gatunku

¹ W literaturze hydrobiologicznej i fykologicznej nie ma jednoznacznej definicji „zakwitu”. W przypadku *G. semen* używa się zamiennie terminów: „masowy rozwój”, „masowy pojaw”, „zakwit” (ang.: *mass development*, *mass appearance*, *bloom*). Na potrzeby autoreferatu przyjęto, że z takim zjawiskiem mamy do czynienia w przypadku świeżej biomasy większej od $\sim 1.4 \text{ mg dm}^{-3}$ (Trigal i in. 2011).

przy analizach, małe zainteresowanie jeziorami humusowymi we wcześniejszych latach, częste występowanie populacji w jeziorach tylko na dużych głębokościach co skutkuje pomijaniem gatunku w próbach pobranych z płytszych warstw wody, brak danych paleolimnologicznych. Obecnie przyjmuje się więc, że wyraźnie zauważalna ekspansja tego wiciowca polega w równej mierze na: a) zwiększaniu geograficznego zasięgu występowania; b) kolonizacji nowych typów ekosystemów wodnych; c) coraz częstszym występowaniu zakwitów w siedliskach, w których już wcześniej występował ale w małej liczebności (Laugaste i Nöges 2005). Dlatego też w odniesieniu do *G. semen* w miejsce terminu „inwazja” używa się obecnie słowa „ekspansja” a sam gatunek można uznać za ekspansywny.

Zwiększone zainteresowanie naukowców *Gonyostomum semen* związane jest nie tylko z jego zauważalną ekspansją ale także z doniesieniami na temat dolegliwości skórnych występujących u osób, które miały kontakt z tym glonem podczas kąpieli w jeziorach Skandynawii (Hagman i in. 2015). Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska uznała oficjalnie *G. semen* za gatunek szkodliwy (Angeler i Johnson 2014).

W literaturze przedmiotu istnieje ciągła debata na temat przyczyn ekspansji *G. semen* w wodach śródlądowych. Jak dotąd powstało kilka hipotez, próbujących wyjaśnić czynniki odpowiedzialne za to zjawisko (szczegółowy przegląd w Rozdziale iii. Wymagania siedliskowe...). Ponieważ badania z ostatnich lat wskazują na istotną rolę zmian klimatu w jego ekspansji (Rengefors i in. 2012), istnieje prawdopodobieństwo nasilenia występowania zakwitów *G. semen* w przyszłości oraz zwiększenia obszaru ich występowania. Konsekwencje zmian klimatu dla wód śródlądowych nie ograniczają się do podwyższenia średniej temperatury wody czy wydłużenia sezonu wegetacyjnego ale powodują także zaburzenia cyklu hydrologicznego i hydrochemicznego, czego skutkiem jest wzrost zabarwienia wody (Schindler i in. 1997). Warunki takie mogą sprzyjać dalszej ekspansji *G. semen* na obszarach położonych na południe od Skandynawii, wraz ze zwiększającą się ilością wód zabarwionych (bogatych w związki humusowe), z którymi gatunek ten był od dawna wiązany (Rosen 1981, Reynolds i in. 2002).

Powyższe przesłanki jak również wyniki wcześniejszych badań własnych, w których opisałem po raz pierwszy zakwit *G. semen* w jeziorze humusowym w Polsce Środkowo-Wschodniej (Pęczuła 2007) oraz analiza literatury dotyczącej ekspansji tego wiciowca w wodach śródlądowych Europy Północnej były podstawowymi motywami, które skłoniły mnie do podjęcia badań dotyczących ekologii *G. semen*. Bardzo ważnymi przesłankami były

ponadto dwa fakty: i) możliwość prześledzenia początkowej fazy ekspansji gatunku w tej części Europy; ii) możliwość przeprowadzenia badań na obszarze o różnych od Skandynawii cechach klimatycznych, w zbiornikach wodnych o odmiennych od jezior młodoglacjalnych cechach morfometrycznych i hydrochemicznych (jeziora krasowe i termokrasowe Polesia Lubelskiego wykształcone na obszarze płytkiego występowania skał wapiennych). W związku z tym sformułowałem następujące hipotezy badawcze:

H1. *G. semen* jako gatunek ekspansywny posiada dużą plastyczność ekologiczną, która ujawnia się poprzez zdolność do łatwego przystosowania się do nowych warunków środowiskowych.

Hipoteza ta miała zostać pośrednio zweryfikowana poprzez odpowiedź na następujące pytania badawcze:

P1. W jakim tempie gatunek będzie się rozprzestrzeniał na nowym obszarze ekspansji?

P2. W jakich typach zbiorników wodnych *G. semen* będzie tworzył zakwity?

P3. Jakie są czynniki hydrochemiczne towarzyszące tworzeniu zakwitów przez gatunek na nowym obszarze ekspansji?

Wyniki badań dotyczących dynamiki ekspansji i zakwitów skłoniły mnie następnie do bardziej szczegółowych badań dotyczących ekologii *Gonyostomum semen*. W obszarze tym zainteresowały mnie dwa słabo poznane zagadnienia: i) pionowe rozmieszczenie gatunku w jeziorach stratyfikowanych, jego zmiany w czasie i czynniki mające wpływ na te zjawiska oraz ii) czynniki sprzyjające kiełkowaniu cyst przetrwalnych *G. semen* z osadów dennych. Analiza literatury pozwoliła na znalezienie luk w wiedzy dotyczącej tych obszarów badawczych (szczegółowe omówienie w rozdziałach poniżej) i postawienie dwóch dalszych hipotez:

H2. Wzorce pionowego rozmieszczenia gatunku w jeziorach Europy nie są uniwersalne, lecz zależne od specyfiki zbiornika, w tym czynników hydrochemicznych i biologicznych;

oraz:

H3. Zwiększona dostawa do zbiorników wodnych rozpuszczonego węgla organicznego może być czynnikiem wspierającym kiełkowanie cyst spoczynkowych *G. semen* z osadów dennych.

ii) Formowanie zakwitów i ekspansja *Gonyostomum semen* na nowym obszarze w Polsce

Gatunek *Gonyostomum semen* został po raz pierwszy opisany na obszarze Polski w latach osiemdziesiątych XX w. Jego występowanie stwierdzono w jeziorach dystroficznych Wigierskiego Parku Narodowego oraz w mazurskim jeziorze Smolak, gdzie po raz pierwszy opisano także jego zakwit (Hutorowicz 1993, 2001). Kolejne doniesienia o występowaniu gatunku w Polsce wskazywały na jego obecność w nielicznych jeziorach tylko w północnej części kraju. W latach dziewięćdziesiątych XX w. *G. semen* był rejestrowany w jeziorach Pojezierza Bytowskiego (Szeląg-Wasilewska i Gołdyn 1994) oraz Ławskiego (Szeląg-Wasilewska 1995). Doniesienia te wskazywały więc na rozprzestrzenianie się gatunku z obszaru Skandynawii, północnej Rosji i krajów bałtyckich w kierunku południowym. Potwierdzeniem tego było pojawienie się *Gonyostomum semen* w środkowo-wschodniej Polsce, w jednym z jezior Polesia Lubelskiego pod koniec XX w. (Pęczuła 2007). Gatunek ten w krótkim czasie zdominował strukturę fitoplanktonu (prowadzone wcześniej badania glonów planktonowych tego jeziora nie wykazały jego obecności), osiągając przy tym bardzo dużą biomasę (10-20 mg dm⁻³). **Przeprowadzone w roku 2002 badania fitoplanktonu dwunastu jezior humusowych Polesia Lubelskiego pokazały, że w krótkim czasie gatunek rozprzestrzenił się na dalsze zbiorniki ([1] Pęczuła 2013).** Obecność *Gonyostomum semen* została stwierdzona w pięciu spośród badanych jezior, przy czym tylko w jeziorach, w których wykształcała się stratyfikacja termiczno-tlenowa, występował we wszystkich terminach badań (maj, lipiec, wrzesień), najczęściej osiągając dużą biomasę (zakres: 0,3 – 51,7 mg dm⁻³). Największe zagęszczenie gatunku obserwowane było latem w hypolimnionie jezior. **Interesującym odkryciem było to, że wszystkie zbiorniki, w których stwierdzono występowanie gatunku położone były na małym obszarze, w niewielkim oddaleniu od siebie i dodatkowo usytuowane były w najbardziej na wschód wysuniętej części polskiego Polesia.** Mogło to sugerować, że gatunek rozprzestrzenił się z obszaru Polesia Wschodniego (Białoruś i Ukraina), jednak brak danych literaturowych dotyczących tego obszaru spowodował, że nie można było potwierdzić tej hipotezy.

Dalsze badania prowadzone w latach 2003-2010 **ujawniły dalszą ekspansję gatunku i tworzenie przez niego zakwitów w kolejnych zbiornikach wodnych Polski Środkowo-Wschodniej ([2] Pęczuła i in. 2013).** W okresie tym zanotowano wystąpienie aż 25 masowych pojawów (biomasa > 1,4 mg dm⁻³) gatunku w dziewięciu różnych zbiornikach wodnych. **Oprócz masowych pojawów na znanych wcześniej stanowiskach w jeziorach**

wschodniej części Polesia Lubelskiego, wiciowiec tworzył zakwity także w dwóch nowych typach siedlisk słodkowodnych, którymi były: nie użytkowane stawy rybne oraz wyrobiska potorfowe położone w środkowej i zachodniej części Polesia Lubelskiego. Interesującym wynikiem był fakt braku różnic statystycznych w liczebności i biomacie *G. semen* pomiędzy trzema typami zbiorników humusowych (jeziora naturalne, stawy, zbiorniki potorfowe). Biomasa gatunku w większości przypadków wynosiła od 1,4 do 50,6 mg dm⁻³, co odpowiadało wartościom notowanym wcześniej w Skandynawii, chociaż w jednym ze zbiorników potorfowych zanotowano rekordowo dużą biomasę, która wyniosła aż 243,6 mg dm⁻³. Była to największa ówczas notowana biomasa *G. semen* w Europie (Karosiene i in. 2014). Co ciekawe, późniejsze badania fitoplanktonu tego zbiornika przeprowadzone w roku 2014 nie wykazały obecności *G. semen* (Pęczuła, dane niepublikowane), co wskazuje na epizodyczny charakter wcześniej zanotowanego zakwitu. **Bardzo ciekawe rezultaty dała także analiza danych dotyczących sezonowości zakwitów w badanych zbiornikach. W przeciwieństwie do Skandynawii, gdzie największe zagęszczenie *G. semen* notuje się późnym latem, w zbiornikach Polski Środkowo-Wschodniej było ono stwierdzane najczęściej w czerwcu.**

Analiza długoterminowych zmian letniego fitoplanktonu w jeziorze, w którym pierwszy raz stwierdzono dużą biomasę *Gonyostomum semen* w Polsce Środkowo-Wschodniej pokazała, że gatunek ten występował bardzo licznie (biomasa: 2,04 – 4,64 mg dm⁻³) nawet po kilkunastu latach od pierwszego zakwitu ([3] Pęczuła i Szczurowska 2013). Jego udział procentowy w biomacie ogólnej fitoplanktonu był znaczny (45% – 91%), co skutkowało zmianami struktury taksonomicznej fitoplanktonu polegającymi na zmniejszeniu udziału cyjanobakterii i zielenic, wcześniej licznie występujących w tym zbiorowisku.

iii) Wymagania siedliskowe *Gonyostomum semen* i warunki hydrochemiczne towarzyszące tworzeniu zakwitów gatunku

Gatunek *Gonyostomum semen* opisywany był początkowo w drobnych zbiornikach wodnych o charakterze dystroficznym (Ehrenberg 1853, Drouet i Cohen 1935). W pierwszym okresie jego ekspansji w Skandynawii był on powszechnie uznawany za gatunek typowy dla jezior humusowych (Rosen 1981, Willén i in. 1990, Lepistö i in. 1994). Jeziora, które *G. semen* „preferował” posiadały kwaśny odczyn oraz średnią do dużej zawartość związków humusowych (Hongve i in. 1988, Willén i in. 1990). Zbiorniki typowe dla *G. semen* Reynolds i

in. (2002) w pracy dotyczącej funkcjonalnej klasyfikacji fitoplanktonu określili jako „siedliska Q” - bogate w związki biogenne, o małym stężeniu wapnia i kwaśnym odczynie wody. Niemniej jednak późniejsze pojedyncze doniesienia wskazywały, że omawiany gatunek może także występować w innych typach siedlisk, takich jak zbiorniki zaporowe czy rzeki (Le Cohu i in. 1989, Korneva 2000, Negro i in. 2000).

Od wielu lat w literaturze przedmiotu dyskutowany jest problem przyczyn ekspansji *G. semen* w wodach śródlądowych Europy. Jak dotąd powstało kilka hipotez, próbujących ustalić czynniki odpowiedzialne za to zjawisko. Wśród nich wymieniane są: eutrofizacja (Eloranta i Palomäki 1986, Hongve i in. 1988, Laugaste 1992, Lepistö i Saura 1998), zakwaszenie (Cronberg i in. 1988, Korneva 2000, Hansson 2000), wzrost stężenia rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) lub kwasów fulwowych (Findlay i in. 2005, Rengefors i in. 2008), ocieplenie klimatu (Rengefors i in. 2012) czy zmniejszenie liczebności filtratorów planktonowych w jeziorach (Hansson 2000, Hehmann i in. 2001). Innym czynnikiem, który hipotetycznie wspierał tworzenie zakwitów przez *G. semen* jest jego zdolność do podejmowania pionowych migracji w cyklu dobowym. Dzięki temu wiciowiec mógłby uzyskać przewagę nad innymi gatunkami i zdominować zespół fitoplanktonu dzięki korzystaniu z hypolimnetycznego fosforu bądź też dzięki unikaniu wyżerania przez zooplankton (Salonen i Rosenberg 2000).

Badania warunków siedliskowych towarzyszących pojawianiu się gatunku w Polsce Środowo-Wschodniej pokazały, że na początkowym etapie ekspansji, *G. semen* występował najliczniej w jeziorach o niezbyt dużej głębokości (max 9,6 m) ale z wykształcającą się stratyfikacją termiczną **[[1] Pęczuła 2013]**. Kolejne obserwacje nie potwierdziły jednak tych preferencji, gatunek tworzył bowiem zakwity także w siedliskach płytkowodnych **[[2] Pęczuła i in. 2013]**. **Interesującym odkryciem było określenie wymagań gatunku w stosunku do odczynu wody. Podczas gdy zakwity *G. semen* w krajach Europy Północnej były notowane przy kwaśnym lub obojętnym odczynie wody (pH 5,0 – 7,5) moje badania wskazywały na szerszą tolerancję gatunku w stosunku do tego czynnika i tworzenie masowych pojawów przy odczynie w zakresie od 4,8 do 8,3 pH.** Podobną zależność stwierdzono w przypadku przewodnictwa elektrolitycznego – gatunek tworzył wysokie biomasy w szerokim zakresie wartości tego parametru od 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$ do 248 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Badania na Polesiu Lubelskim pokazały także, że **barwa wody (parametr mówiący o zawartości barwnych frakcji rozpuszczonego węgla organicznego, w tym związków humusowych) nie była czynnikiem**

decydującym o występowaniu gatunku (lub tworzeniu zakwitów), chociaż zjawiska te były obserwowane tylko w zbiornikach o barwie wody większej niż 30 mg Pt dm^{-3} . Podobną zależność stwierdzono w przypadku zawartości fosforu ogólnego. Jakkolwiek nie był on statystycznie istotnym czynnikiem skorelowanym z zakwitami *G. semen*, wszystkie zbiorniki, w których takie zjawisko zaobserwowano miały umiarkowane lub duże stężenia fosforu, mieszczące się w stosunkowo szerokim zakresie od $0,028 \text{ mg dm}^{-3}$ do $0,155 \text{ mg dm}^{-3}$. Szeroki zakres tolerancji badanego gatunku w stosunku do zawartości fosforu oraz innych czynników potwierdziły także długoterminowe obserwacje populacji *G. semen* w jeziorze Płotycze ([3] Pęczuła i Szczurowska 2013). W zbiorniku tym, w kilka lat po wystąpieniu pierwszych zakwitów *G. semen* nastąpiła istotna zmiana parametrów fizyczno-chemicznych wody (spadek stężeń fosforu ogólnego i przewodnictwa elektrolitycznego oraz wzrost barwy wody), związana ze zmianami hydrologicznymi (wzrost poziomu wody). *Gonyostomum semen* w tym jeziorze był okresowo bardzo liczny dominując w biomacie ogólnej fitoplanktonu zarówno przed jak i po zmianie warunków hydrochemicznych, co potwierdzało jego dużą plastyczność ekologiczną.

iv) Wzorce pionowego rozmieszczenia i pionowych wędrówek dobowych *Gonyostomum semen* w jeziorach stratyfikowanych

Nierównomierne rozmieszczenie w pionowej kolumnie wody oraz dobowe zmiany tego rozmieszczenia są znanymi cechami *Gonyostomum semen*, które obserwowane były zarówno w drobnych zbiornikach wodnych jak i w jeziorach ze stratyfikacją termiczno-tlenową (Cowles i Brambel 1936, Cronberg i in. 1988, Le Cohu i in. 1989, Pithart i in. 1997, Negro i in. 2000, Pęczuła 2007). Według Eloranty i Räike (1995) nierównomierne rozmieszczenie gatunku w pionowej kolumnie wody jest związane z unikaniem nadmiernego naświetlenia, stąd w słoneczne dni populacja *G. semen* koncentruje się na większej głębokości a podczas zachmurzenia jego pionowe rozmieszczenie jest bardziej równomierne. Dobowe zmiany tego rozmieszczenia (przebywanie rano i w południe w warstwie powierzchniowej lub w metalimnionie a następnie migracje w kierunku warstw przydennych po południu) tłumaczono natomiast potrzebą uzupełnienia przez komórki fosforanów z żyznych warstw hypolimnionu (Salonen i Rosenberg 2000). **Badania, które podjąłem na ten temat w trzech jeziorach ze stratyfikacją termiczno-tlenową nie potwierdziły żadnej z wymienionych hipotez, poprzez wykazanie braku zależności pomiędzy warunkami**

atmosferycznymi a sposobem wertykalnego rozmieszczenia gatunku jak również braku związku pomiędzy dobowymi pionowymi migracjami a zmianami stężeń fosforanów ([4] Pęczuła i in. 2014). **Interesującym i nowym odkryciem było natomiast stwierdzenie, że w jeziorach Polesia Lubelskiego populacja *G. semen* przez większą część doby przebywa w odtlenionym hypolimnionie w warunkach braku światła, tylko okresowo (w środku dnia) przemieszczając się ku górze, do strefy eufotycznej (lub do jej dolnej granicy). Bardzo interesujące rezultaty uzyskano także badając, nieznany wcześniej w literaturze związek wędrówek dobowych *G. semen* z pionowymi zmianami rozmieszczenia zooplanktonu.** Wykazano, że trzy spośród badanych gatunków zooplanktonu (skorupiaki: *Ceriodaphnia quadrangula* i *Eudiaptomus graciloides* oraz wrotek *Asplanchna priodonta*) przemieszczały się synchronicznie do wędrówek *G. semen*. **Wyniki te wskazywały, że w zmianach dobowego rozmieszczenia badanego wiciowca istotną rolę może odgrywać presja zooplanktonu,** jakkolwiek trudno było o rozstrzygnięcie, w którym kierunku zachodziła zależność przyczynowo-skutkowa (pionowe wędrówki zooplanktonu mogą być zarówno przyczyną jak i skutkiem wędrówek *G. semen*).

v) Czynniki sprzyjające kiełkowaniu komórek wegetatywnych *Gonyostomum semen* z cyst spoczynkowych w osadach dennych

Wśród glonów planktonowych jednym z mechanizmów tworzenia zakwitów i długotrwałego dominowania w zbiorowisku fitoplanktonu jest zdolność do przetrwania niekorzystnych warunków środowiskowych (np. zimy) w postaci cyst spoczynkowych lub w formie wegetatywnej w osadach dennych (Fryxell 1983, Hansson 2000). *Gonyostomum semen*, podobnie jak inne gatunki wiciowców (m. in. z klasy Dinophyceae) wytwarza jesienią cysty spoczynkowe, które po zimowaniu w osadach dennych kiełkują wiosną następnego roku tworząc nową generację populacji (Figueroa i Rengefors 2006), co jest uważane za bardzo istotny element zapoczątkowania zakwitu (Anderson i Rengefors 2006). Czynnikiem, które mają wpływ na kiełkowanie cyst tego gatunku z osadów dennych do planktonowych form wegetatywnych są: temperatura, jak udowodniły to badania Rengefors i in. (2012) oraz obecność Cladocera w toni wodnej, co wykazały badania Hanssona (1996).

Zmiany klimatyczne zachodzące w ostatnich dekadach mają swoje odzwierciedlenie w wodach śródlądowych m.in. w postaci wzrostu zabarwienia wody, wywołanego zwiększoną dostawą rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) ze zlewni (Schindler i in.

1997). Zwiększona ilość DOC w wodach była wskazywana jako czynnik mogący się przyczyniać do ekspansji *G. semen*, co tłumaczono zdolnością komórek tego gatunku do pobierania kwasów fulwowych (Rengefors i in. 2008). Nie było jednak jak dotąd doniesień na temat roli tego czynnika w kiełkowaniu cyst spoczynkowych *G. semen* z osadów dennych, co skłoniło mnie do podjęcia badań na ten temat ([5] Pęczuła i in. 2015). W eksperymencie laboratoryjnym testowano wpływ różnych form rozpuszczonego węgla organicznego (glukoza i ekstrakt z torfu) na kiełkowanie cyst z osadów dennych (pobranymi wczesną wiosną w formie nie zaburzonych rdzeni z jeziora). **Wyniki badań pokazały, że DOC w formie glukozy nie był czynnikiem wspierającym kiełkowanie cyst, natomiast efekt stymulujący uzyskano w przypadku dodatku ekstraktu z torfu. Sugerowało to, że tylko formy rozpuszczonego węgla organicznego w postaci związków humusowych (kwasy fulwowe i huminowe), a więc w formie obecnej w dopływającej ze zlewni materii mogą odgrywać pozytywną rolę przy wiosennym odnawianiu się populacji *G.semen* z osadów dennych w jeziorach.** Niemniej jednak, ze względu na podwyższone wartości fosforu w ekstrakcie z torfu nie można było wykluczyć pozytywnej roli także tego pierwiastka w procesie kiełkowania cyst, co jest mechanizmem znanym w przypadku różnych form przetrwalnych innych gatunków fitoplanktonowych, w tym cyjanobakterii, bruzdnic czy zielenic. **Badania te pokazały po raz pierwszy, że zmiany hydrochemiczne w wodach śródlądowych mogą mieć wpływ na odnawianie się populacji *G.semen* z cyst w osadach dennych, a co za tym idzie mogą być czynnikiem wspomagającym ekspansję tego gatunku w Europie.**

vi). Podsumowanie i wnioski

Uzyskane w powyższym cyklu prac wyniki pokazały, że wiciowiec *Gonyostomum semen* na nowym obszarze ekspansji w Europie (Polska Środkowo-Wschodnia), zasiedlił początkowo małą grupę położonych blisko siebie zbiorników wodnych aby następnie w stosunkowo krótkim czasie (ok. jednej dekady) rozprzestrzenił się na dalsze obszary. Wyniki badań wskazują także, że jego liczna obecność i dominacja w zespole fitoplanktonu może być zarówno zjawiskiem długotrwałym jak również może mieć charakter epizodyczny.

Badania pokazały ponadto nowe, nieznane wcześniej aspekty ekologii *Gonyostomum semen*. Dotyczyło one nowych typów siedlisk, w których tworzy on zakwity

oraz szerszego niż podawany do tej pory zakresu tolerancji w stosunku do odczynu wody i przewodnictwa elektrolitycznego. Wykazano ponadto, że zabarwienie wody oraz duża zawartość fosforu są warunkami koniecznymi, ale nie wystarczającymi do tworzenia zakwitów. Badany gatunek w jednym z jezior, w którym trwale zdominował zbiorowisko fitoplanktonu i tworzył zakwity wykazywał zdolności adaptacyjne do zmieniających się warunków hydrochemicznych (zmiany stężeń fosforu, przewodnictwa elektrolitycznego oraz zabarwienia wody). Nowym odkryciem było także stwierdzenie wcześniejszego niż w Skandynawii okresu występowania największej biomasy (w czerwcu a nie w okresie późnego lata). Powyższe wnioski są potwierdzeniem postawionej przeze mnie hipotezy H1: „*G. semen* jako gatunek ekspansywny posiada dużą plastyczność ekologiczną, która ujawnia się poprzez zdolność do łatwego przystosowania się do nowych warunków środowiskowych”.

Wykazano ponadto, że w odmiennych od Skandynawii warunkach środowiskowych pionowe rozmieszczenia *G. semen* w jeziorach ze stratyfikacją a także zmiany tego rozmieszczenia w cyklu dobowym są warunkowane innymi czynnikami niż wskazywane wcześniej w literaturze. Po raz pierwszy pokazano także, że w zmianach dobowego rozmieszczenia badanego wiciowca istotną rolę może odgrywać presja zooplanktonu. Wskazuje to, że wzorce pionowego rozmieszczenia gatunku w jeziorach Europy nie są uniwersalne, lecz zależne od specyfiki zbiornika, w tym czynników hydrochemicznych i biologicznych, co było drugą postawioną przeze mnie hipotezą badawczą (H2).

W swoich badaniach dokonałem także weryfikacji hipotezy H3: „Zwiększona dostawa do zbiorników wodnych rozpuszczonego węgla organicznego może być czynnikiem wspierającym kiełkowanie cyst spoczynkowych *G. semen* z osadów dennych.” Wyniki badań częściowo potwierdziły tę hipotezę i pokazały że tylko forma DOC w postaci ekstraktu z torfu, a więc zawierająca związki humusowe, może odgrywać pozytywną rolę przy wiosennym odnawianiu się populacji *G.semen* w jeziorach. Pokazano również, że rolę taką może odgrywać fosfor. Znaczenie tych wyników polega m.in. na tym, że po raz pierwszy wykazano rolę zmian hydrochemicznych w zbiornikach wodnych w tworzeniu zakwitów przez *G.semen* na etapie kiełkowania cyst spoczynkowych z osadów dennych.

Uważam, że przedstawione przez mnie wnioski wynikające ze zrealizowanych badań stanowią osiągnięcie, które wnosi znaczny wkład do nauki w zakresie ekologii gatunków ekspansywnych i inwazyjnych w wodach śródlądowych. Badania moje pokazały

**także potrzebę kontynuacji badań na temat biologii i ekologii *Gonyostomum semen*.
Powinny one dotyczyć, według mojej opinii, takich zagadnień jak: zróżnicowanie
genetyczne europejskiej populacji gatunku, interakcji troficznych i para-troficznych z
zooplanktonem oraz roli zmian klimatycznych w spodziewanej dalszej ekspansji gatunku.**

vii) Literatura.

- Anderson D. M., Rengefors K. 2006. Community assembly and seasonal succession of marine dinoflagellates in a temperate estuary: the importance of life cycle events. *Limnol. Oceanogr.* 51: 860–873.
- Angeler D. G., Johnson R. K. 2013. Algal invasions, blooms and biodiversity in lakes: Accounting for habitat-specific responses. *Harmful Algae* 23: 60-69.
- Burchardt L. 1977. Changes in phytoplankton composition of Lake P tnowskie, receiver of heated water and waste water from a sugar factory. *Ser. Biol. UAM w Poznaniu* 8: 1– 119.
- Colautti R.I., Macisaac H. J. 2004. A neutral terminology to define “invasive” species. *Divers. Distrib.* 10: 135–141.
- Cowles R. P., Brambel C. E. 1936. A study of the environmental conditions in a bog pond with special reference to the diurnal vertical distribution of *Gonyostomum semen*. *Biol. Bull.* 71: 286-298.
- Cronberg G., Lindmark G., Björk S. 1988. Mass development of the flagellate *Gonyostomum semen* (Raphidophyta) in Swedish forest lakes – an effect of acidification? *Hydrobiologia* 161: 217-236.
- Drouet F. , Cohen A. 1935. The morphology of *Gonyostomum semen* from Woods Hole, Massachusetts, *Biol. Bull.* 68: 422–439.
- Druvietis I., Sprinģe G., Briede A., Kokorīte I. and Parele E. 2010. A comparative assessment of the bog aquatic environment of the Ramsar site of Teiči Nature Reserve and North Vidzeme Biosphere Reserve, Latvia. In: Klavins M. (ed.) *Mires and Peat*, University of Latvia Press, Riga: 19-40.
- Ehrenberg C.G. 1853. Über die neuerlich bei Berlin vorgekommenen neuen Formen des mikropischen Lebens. *Ber. Bekanntm. Verh. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin.*: 183-194.
- Eloranta P., Palomäki A. 1986. Phytoplankton in lake Konnevesi with special reference to eutrophication of the lake by fish farming. *Aqua Fenn.* 16: 37–45.
- Eloranta P. Räike A. 1995. Light as a factor affecting the vertical distribution of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (Raphidophyceae) in lakes. *Aqua Fenn.* 25: 15–22.
- Elton C. S. 1958. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Methuen, London.
- Figuerola R.I., Rengefors K. 2006. Life cycle and sexuality of the freshwater raphidophyte *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae). *J. Phycol.* 42: 859–871.
- Findlay D.L., Paterson M.J., Hendzel L.L. , Kling H.J. 2005. Factors influencing *Gonyostomum semen* blooms in a small boreal reservoir lake. *Hydrobiologia* 533: 243-252.
- Fryxell G. A. 1983. *Survival Strategies of the Algae*. Cambridge University Press, New York.
- Hagman C. H. C., Ballot A., Hjermann D. O., Skjelbred B., Brettum P., Ptacnik R. 2015. The occurrence and spread of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (Raphidophyceae) in Norwegian lakes. *Hydrobiologia* 744: 1-14.
- Hansson L. A. 1996. Behavioural Response in Plants: Adjustment in Algal Recruitment Induced by Herbivores. *Proc. R. Soc. Lond.* 263: 1241-1244.
- Hansson L.A. 2000. Synergistic effects of food chain dynamics and induced behavioral responses in aquatic ecosystems. *Ecology* 81: 842-851.
- Hehmann A., Krienitz I. and Koschel R. 2001. Long-term phytoplankton changes in an artificially divided, top-down manipulated humic lake. *Hydrobiologia* 448: 83-96.
- Hongve D., Løvstad Ø., and Bjørndalen K., 1988. *Gonyostomum semen* – a new nuisance to bathers in Norwegian lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 430-434.

- Hutorowicz A. 1993. *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in Lake Smolak in northern Poland. *Fragm. Flor. Geobot. Polonica* 38: 163–171.
- Hutorowicz A. 2001. Fitoplankton humusowego jeziora Smolak na tle zmian warunków fizyczno-chemicznych wywołanych wapnowaniem i nawożeniem. *Idee Ekologiczne* 14: 3-130.
- Hutorowicz A., Szeląg-Wasielewska E., Grabowska M., Owsiany P.M., Pęczuła W. and Luścińska M., 2006. The occurrence of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in Poland. *Fragm. Flor. Geobot. Polonica* 13: 399-407.
- Karosienė J., Kasperovičienė J., Koreivienė J., Vitonytė I. 2014. Assessment of the vulnerability of Lithuanian lakes to expansion of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae). *Limnologica* 45: 7–15.
- Kobos J., Błaszczak A., Hohlfeld N. i inni 2014. Cyanobacteria and cyanotoxins in Polish freshwater bodies. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 42: 358-378.
- Korneva L. G. 2000. Ecological aspects of the mass development of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Dies. (Raphidophyta). *Algologia* 10: 265–277.
- Korneva L. G. 2014. Invasions of alien species of planktonic microalgae into the fresh waters of Holarctic (Review). *Russ. J. Biol. Inv.* 5: 65-81.
- Laugaste R. 1992. An alga of genus *Gonyostomum*. *Eesti Loodus* 12: 610–612.
- Laugaste R., Nõges P. 2005. Nuisance alga *Gonyostomum semen*: implications for its global expansion [W:] Ramachandra T.V., Ahalya N., Murty C.R. (eds.) *Aquatic ecosystems, conservation, restoration and management*, Capital Publishing Company, Bangalore, 77-87.
- Le Cohu R., Guitard J., Comoy N. and Brabet J. 1989. *Gonyostomum semen* (Raphidophycées), nuisance potentielle des grands réservoirs français? L'exemple du lac de Pareloup. *Arch. Hydrobiol.* 117: 225-236.
- Lepistö L., Antikainen S. Kivinen J. 1994. The occurrence of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing in Finnish lakes. *Hydrobiologia* 273: 1-8.
- Lepistö L., Saura M. 1998. Effects of forest fertilization on phytoplankton in a boreal brown-water lake. *Boreal Env. Res.* 3: 33-43.
- Lodge D. M. 1993. Biological invasions: lessons for ecology. *Trends Ecol. Evol.* 8: 133-137.
- Negro A.I., De Hoyos C. Vega J.C. 2000. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaíso reservoir (NW Spain). *Hydrobiologia* 424: 25-37.
- Padisák J. 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and a review of this ecology. *Monogr. Stud.* 4: 563–593.
- Paerl H. W., Huisman J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ. Microbiol. Rep.* 1: 27-37.
- Pęczuła W. 2007. Mass development of the algal species *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in the mesohumic Lake Płotycze (central-eastern Poland). *Ocean. Hydrobiol. Stud.*, 36 (S. 1): 163-172.
- Pithart D., Pechar L., Mattsson G. 1997. Summer blooms of raphidophyte *Gonyostomum semen* and its diurnal vertical migration in a floodplain pool. *Algol. Stud.* 85: 119-133.
- Rengefors K., Pålsson C., Hansson L.A. and Heiberg L. 2008. Cell lysis of competitors and osmotrophy enhance growth of the bloom-forming alga *Gonyostomum semen*. *Aquat. Microb. Ecol.* 51: 87–96.
- Rengefors K., Weyhenmeyer G. A., Bloch I. 2012. Temperature as a driver for the expansion of the microalga *Gonyostomum semen* in Swedish lakes. *Harmful Algae* 18: 65-73.
- Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24: 417–428.
- Rosen G. 1981. Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors. *Limnologica* 13: 263-290.
- Salonen K., Rosenberg M. 2000. Advantages from diel vertical migration can explain the dominance of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in a small, steeply-stratified humic lake. *J. Plank. Res.* 22: 1841-1853.

- Schindler D. W., Curtis P.J., Bayley S.E. 1997. Climate-induced changes in the dissolved organic carbon budgets of boreal lakes. *Biogeochemistry* 36: 9–28.
- Skuja H. 1937. Süßwasseralgen aus griechenland und kleinasien. *Hedwigia* 77: 15–70.
- Sukenik A., Hadas O., Kaplan A., Quesada A. 2012. Invasion of Nostocales (cyanobacteria) to subtropical and temperate freshwater lakes—physiological, regional, and global driving forces. *Front. Microbiol.* 3: 86.
- Szeląg-Wasilewska E. 1995. Struktura fitoplanktonu dystroficznego Jeziora Czarne na Pojezierzu Iławskim [W:] Z. Mirek, J. Wójcicki (red.) Szata roślinna Polski w procesie przemian. Mat. Konf. I Symp. 50 Zjazdu PTB, Wyd. Instytutu Botaniki PAN, Kraków: 390.
- Szeląg-Wasilewska E., Gołdyn R. 1994. Zbiorowiska glonów w pelagialu jezior lobeliowych [W:] M. Kraska (red.) Jeziora lobeliowe. Charakterystyka, funkcjonowanie i ochrona. Cz. I. Idee Ekologiczne 6, Ser. Szkice 4: 37-65.
- Trigal C., Goedkoop W., Johnson R. K. 2011. Changes in phytoplankton, benthic invertebrate and fish assemblages of boreal lakes following invasion by *Gonyostomum semen*. *Freshwater Biol.* 56: 1937-1948.
- Willén E., Hajdu S. and Pejler Y., 1990. Summer phytoplankton in 73 nutrient-poor Swedish lakes. Classification, ordination and choice of long-term monitoring objects. *Limnologica* 20: 217-227.
- Wołoszyńska J. 1912. Das phytoplankton einiger javanien seen mit berucksichtigung des sawa-planktons. *Bull. Int. Acad. Sci. Cracov., Ser. B*, 6: 649–709.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora

Studia na kierunku Ochrona Środowiska na Wydziale Filozoficznym Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego rozpocząłem w 1989 roku. W trakcie ich trwania moje zainteresowania naukowe skupiły się na tematyce związanej z hydrobiologią i ochroną wód, w szczególności dotyczącej środowisk podmokłych. Efektem tego była praca magisterska zrealizowana w Katedrze Biologii Środowiska i Ochrony Wód KUL pod kierunkiem prof. dr hab. Anny Stańczykowskiej-Piotrowskiej na temat aktualnego stanu, znaczenia przyrodniczego oraz perspektyw ochrony torfowisk w Polsce. Praca ta została wyróżniona w ogólnopolskim konkursie Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego im. Profesora Mariana Gieyszтора na najlepszą pracę magisterską o tematyce hydrobiologicznej. Po obronie pracy magisterskiej rozpocząłem pracę na stanowisku asystenta w Katedrze Biologii Środowiska i Ochrony Wód (nazwa jednostki została zmieniona w następnych latach na: Katedra Botaniki i Hydrobiologii), w zespole kierowanym przez prof. dr hab. Władysławę Wojciechowską, na nowoutworzonym Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym KUL. Od początku swojej pracy naukowej zająłem się tematyką glonów planktonowych, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień ekologii tej grupy organizmów. Podstawy metodyki z zakresu ekologii wód śródlądowych zdobyłem w trakcie stażu naukowego pt. „Hydrobiologia. Toń wodna” organizowanego przez Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne w Stacji Hydrobiologicznej Centrum Badań Ekologicznych PAN w Mikołajkach. Jednocześnie zacząłem zgłębiać podstawy warsztatu badań fykologicznych odbywając staż naukowy w Katedrze Botaniki i Fizjologii Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (ówcześnie: Akademia Rolnicza) pod kierunkiem prof. dr hab. Jana Matuły. Od pierwszego roku mojej pracy aktywnie uczestniczyłem także w corocznych sympozjach naukowych Sekcji Fykologicznej Polskiego Towarzystwa Botanicznego, której członkiem zostałem w 1995 roku. Od roku 2006, od momentu powołania Polskiego Towarzystwa Fykologicznego (którego jestem członkiem - założycielem) brałem ponadto udział w ośmiu konferencjach fykologicznych PTF prezentując na nich dziewięć doniesień naukowych.

W pierwszym okresie pracy na stanowisku asystenta brałem udział w zespołowych badaniach (pod kierunkiem prof. dr hab. Władysławę Wojciechowskiej) dotyczących glonów planktonowych i ich roli w funkcjonowaniu ekosystemów jeziornych. Pierwsze prace

realizowane w jeziorach Polesia Lubelskiego zaowocowały dwiema publikacjami na temat długoterminowych zmian jakości wody w chronionych zbiornikach wodnych oraz zimowych zbiorowisk fitoplanktonu w jeziorach będących pod presją eutrofizacji (Wojciechowska i in. 1996, Wojciechowska i in. 1998). Pierwsze doświadczenia w pracy z szerokim, interdyscyplinarnym zespołem badawczym zdobyłem uczestnicząc jako wykonawca w projekcie badawczym zamawianym „Kierunki ochrony ekosystemów Sobiborskiego Parku Krajobrazowego w oparciu o optymalizację stosunków wodnych w zlewni Tarasienki (KBN PBZ 006 08 96)”. Efektem projektu było wydanie monografii naukowej dotyczącej ekosystemów badanego obszaru, w której byłem autorem jednego z rozdziałów (Wojciechowska i Pęczuła 1999).

Jednocześnie prowadziłem badania dotyczące glonów planktonowych jezior humusowych, które realizowane były w ramach przygotowywanej rozprawy doktorskiej. Szczegółowym tematem badań i jednocześnie tytułem rozprawy był „Fitoplankton jako wskaźnik zróżnicowania siedliskowego w płytkim jeziorze Płotycze na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim” a praca powstała pod kierunkiem prof. dr hab. Władysławy Wojciechowskiej. W pracy tej wykazano, że w niewielkim powierzchniowo jeziorze humusowym wyraźne zróżnicowanie siedliskowe (w znaczeniu hydrobotanicznym i hydrochemicznym) jest odzwierciedlone w liczebności, biomacie i strukturze taksonomicznej glonów planktonowych. Materiały zebrane podczas przygotowywania rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w formie artykułów oryginalnych zarówno przed uzyskaniem stopnia doktora jak i w okresie późniejszym (Pęczuła i Zykubek 1998, Pęczuła 2002, Pęczuła 2007, Pęczuła 2013).

Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk biologicznych zająłem się czterema głównymi nurtami badań z zakresu ekologii wód.

Pierwszym z nich była **ekologia płytkich jezior i rola fitoplanktonu w ich funkcjonowaniu**. Zagadnieniem tym zająłem się uczestnicząc w międzynarodowym projekcie w ramach V Programu Ramowego UE „ECOFAME - Ecological quality and functioning of shallow lake ecosystems with respect to the needs of the European Water Framework Directive” (koordynator krajowy: prof. dr hab. Ryszard Kornijów), w którym jako wykonawca miałem okazję na ścisłą współpracę (m.in. udział w warsztatach metodycznych w Tartu, Estonia, 2002) z szeregiem czołowych limnologów z wiodących ośrodków hydrobiologicznych

w Europie. Współpraca ta zaowocowała także ukazaniem się kilku publikacji (Kornijów i in. 2002a, **Moss i in. 2003, Aquat Conserv, IF=0,951; Noges i in. 2003, Hydrobiologia, IF=0,720;** Kornijów i Pęczuła 2005). Jedną z tych prac (Moss i in. 2003), w której po raz pierwszy zaproponowano pan-europejski system oceny stanu ekologicznego płytkich jezior zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej była cytowana 170 razy i jest czwartą w kolejności jeśli chodzi o liczbę cytowań artykułu z czasopisma *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* w jego historii (wg Web of Science, Thomson Reuters, marzec 2015). Tematykę funkcjonowania płytkich jezior kontynuowałem także w dalszych latach mojej pracy zawodowej. W szczególności dotyczyła ona m.in. zjawiska hipertrofizacji płytkich jezior oraz roli zlewni w kształtowaniu trofii płytkich zbiorników wodnych a badania na ten temat zostały opublikowane w pracach: Kornijów i in. 2002b oraz Dawidek i in. 2009.

Drugim zagadnieniem, którego realizację rozpocząłem po uzyskaniu stopnia doktora były **badania nad ekspansywnym planktonowym gatunkiem *Gonyostomum semen* w jeziorach humusowych**. Badania na ten temat były możliwe dzięki uzyskaniu przeze mnie projektu badawczego własnego „Występowanie i wybrane aspekty ekologii inwazyjnego gatunku *Gonyostomum semen* (Ralfs.) Diesing na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim” (KBN 3 P04F 027 22), realizowanego w latach 2002-2004, którego byłem kierownikiem. Wyniki uzyskane w tym projekcie wraz z innymi, uzyskanymi w latach późniejszych zostały opublikowane w cyklu prac i stanowią osiągnięcie naukowe, będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego (przedstawione w punkcie 4. Autoreferatu). Efektem badań wykonanych w tym projekcie były ponadto dwie inne publikacje (nie włączone do przedłożonego osiągnięcia naukowego): praca na temat aktualnego występowania *G. semen* w Polsce (Hutorowicz i in. 2006), w której przeanalizowano wszystkie znane stanowiska tego gatunku w kraju oraz artykuł na temat zmienności barwnych frakcji rozpuszczonego węgla organicznego (CDOC) w jeziorach humusowych (**Pęczuła 2014, Ecohydrology, IF=2,634**). W publikacji tej wykazano po raz pierwszy zależność między parametrami morfometrycznymi jezior bezodpływowych, wielkością i strukturą ich zlewni a dynamiką zmian CDOC w tych zbiornikach.

Po zakończeniu ww. projektu otrzymałem propozycję objęcia stanowiska adiunkta w Katedrze Hydrobiologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w zespole kierowanym przez prof. dr hab. Ryszarda Kornijowa. W nowym miejscu pracy kontynuowałem badania w zakresie obu tematów przedstawionych powyżej a także zająłem się trzecim z zagadnień

jakim była **problematyka rekultywacji i ochrony jezior, w szczególności dotycząca czynników ograniczających nadmierny rozwój fitoplanktonu**. Prowadzenie badań w tym zakresie zaowocowało szeregiem publikacji (Pęczuła 2009; Pęczuła 2012; Pęczuła i in. 2012; **Pęczuła 2013, J Appl Phycol, IF=2,492; Pęczuła i Suchora 2014, Knowl Manag Aquat Ec, IF=0,622**), z których dwie ostatnie z wymienionych dotyczyły nowatorskich, eksperymentalnych badań nad ekstraktami pozyskanymi ze słomy jęczmiennej i ich potencjalnym wykorzystaniem jako czynników ograniczających rozwój glonów planktonowych i makrofitów.

Kolejnym zagadnieniem, mieszczącym się w zakresie moich zainteresowań badawczych był **fitoplankton siedlisk ekstremalnych, marginalnych oraz innych, w tym drobnych zbiorników wodnych**. Moje badania obejmowały takie siedliska jak: drobne zbiorniki utworzone na hałdach po kopalni siarki Machów (Pęczuła i in. 2006), epizodyczny zbiornik zapadliskowy na obszarze oddziaływania kopalni węgla Bogdanka (**Pęczuła i in. 2014, Pol J Environ Stud, IF=0,6**), starorzecza (Pęczuła i Banach 2013) czy drobne zbiorniki na torfowiskach (Szczurowska i Pęczuła 2013). Moje zainteresowanie bioróżnorodnością glonów w różnych siedliskach słodkowodnych mogłem rozwinąć podczas dwóch ekspedycji badawczych na wyspę Bornholm w latach 2008-2010, zorganizowanych przez Polskie Towarzystwo Fykologiczne (pod kierunkiem prof. dr hab. Lubomiry Burchardt), przy współpracy z NaturBornholm Museum w Aakikerby (Dania). Pokłosiem badań bardzo różnorodnych siedlisk tej wyspy, oprócz przygotowywanej obecnie monografii naukowej była wystawa moich fotografii i grafik glonów, prezentowana zarówno w Danii jak i w kilku ośrodkach akademickich Polski.

W ramach pracy w Katedrze Hydrobiologii UP brałem także udział jako wykonawca w **zespołowych programach naukowo-badawczych i aplikacyjnych** realizowanych przez jednostkę pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Kornijowa (a od roku 2011 - dr hab. Tomasza Mieczana). Były to (w nawiasach podano rok, mój udział oraz instytucje współpracujące): „Badania nad rolą ryb w kształtowaniu jakości wody w Zalewie Zemborzyckim” (2005-2006, eksperyment terenowy dotyczący interakcji troficznych: ryby-zooplankton-fitoplankton; Urząd Miasta Lublina); „Poprawa stanu ekologicznego i optymalizacja wykorzystania turystycznego zlewni zespołu jezior Miejskie - Kleszczów, jako rozwiązanie pilotażowe do wdrażania na obszarach pojeziernych Euroregionu Bug” (2006, opracowanie struktury fitoplanktonu i skorupiaków planktonowych; projekt PHARE);

„Badania hydrobiologiczne i ichtiobiologiczne jeziora Skomielno koło Sosnowicy” (2006, opracowanie struktury fitoplanktonu, spółka Dodo, właściciel łowiska specjalnego); „Diagnoza stanu ekologicznego Zalewu Kraśnickiego i zasilającej go rzeki Wyżnicy oraz zalecenia dotyczące możliwości poprawy obecnej sytuacji” (2008, opracowanie koncepcji rekultywacji zbiornika, Urząd Miasta w Kraśniku); „Sformułowanie w warunkach korzystania z wód regionu wodnego ograniczeń w korzystaniu z wód jezior lub zbiorników oraz w użytkowaniu ich zlewni” (2009-2010, opracowanie zaleceń dotyczących korzystania z wód 10 jezior, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie); „Zalecenia dotyczące poprawy jakości wody w ramach rewitalizacji sadzawki dolnej w Ogrodzie Saskim w Lublinie wraz z projektem urządzenia roślinności” (2010, koncepcja rewitalizacji układu wodnego w Parku Saskim w Lublinie, Urząd Miasta Lublina); „Monitoring ekosystemów wodnych i torfowiskowych Roztoczańskiego Parku Narodowego” (2012, opracowanie flory glonów torfowisk, Roztoczański Park Narodowy) oraz „Plan ochrony Poleskiego Parku Narodowego i obszarów Natura 2000 w granicach Parku. Operat zasobów i ekosystemów wodnych” (2013-2014, ocena stanu ekologicznego wszystkich ekosystemów wodnych w PPN, redakcja operatu, Poleski Park Narodowy). Wyniki badań przeprowadzonych w ww. projektach zostały opublikowane w formie artykułów (Pęczuła i Suchora 2011, **Mieczan i in. 2014; Pol J Environ Stud, IF=0,6**), rozdziałów w monografiach (Pęczuła 2012), maszynopisów, doniesień konferencyjnych lub są w trakcie przygotowania do publikacji.

Podejmowałem także **współpracę w innych ośrodkach naukowych w kraju i za granicą**. W latach 2011-2012 brałem udział jako wykonawca (we współpracy z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie) w międzynarodowym projekcie badawczym „EULAKES - European Lakes Under Environmental Stressors - Supporting lake governance to mitigate the impact of climate change (2CE243P3, EU European Territorial Cooperation Objective, Central Europe Programme), dotyczącym zagrożeń dla jakości wody w wielkich jeziorach Środkowej Europy w kontekście zmian klimatycznych. Obiektem badań w Polsce było Jezioro Charzykowskie (Pojezierze Południowopomorskie), a w projekcie tym odpowiadałem za opracowanie zagadnienia zróżnicowania przestrzennego makrofitów zanurzonych oraz fitoplanktonu na tle czynników morfometrycznych i hydrochemicznych. Innym przykładem współpracy był udział (jako ekspert lokalny) w długofalowym programie „Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem specjalnych obszarów ochrony siedlisk NATURA 2000 – faza trzecia” w latach 2010-2014. Badania

monitoringowe obejmowały wspólnotowe słodkowodne siedliska przyrodnicze: 3150 Starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami z *Nymphaeion*, *Potamion*, 3160 Naturalne, dystroficzne zbiorniki wodne i 3140 Twardowodne oligo- i mezotroficzne zbiorniki z podwodnymi łąkami ramienic (*Charetea*) a projekt był realizowany przy współpracy z Instytutem Ochrony Przyrody PAN w Krakowie. Moja aktywność w projekcie polegała na opracowywaniu metodyki oceny stanu siedlisk, badaniach terenowych oraz redakcji rozdziałów w serii monografii na temat monitoringu siedlisk „naturowych” (Wilk-Woźniak i in. 2012a i 2012b). W ostatnich latach nawiązałem także współpracę z Instytutem Botaniki Centrum Badań Przyrodniczych w Wilnie (Litwa) dotyczącą wspólnych badań nad środkowoeuropejską populacją *G. semen*. Pierwszą część badań wykonano w 2014 roku i dotyczyły one wpływu *G. semen* na zooplankton, w przyszłości planowane są także badania nad zróżnicowaniem genetycznym populacji tego gatunku w Europie Środkowej.

Swoją wiedzę i doświadczenie z zakresu ekologii wód i fykologii wykorzystywałem także we **współpracy z przemysłem**. Przykładem może być współpraca z producentami wód mineralnych (Aqua East i Nestle Waters Polska) w zakresie zarządzania jakością wody w procesie produkcji wód butelkowanych (dwie ekspertyzy) lub też badania wykonywane w przedsiębiorstwie PGE Elektrociepłownia Wrotków w Lublinie na temat efektywności procesów uzdatniania wody służącej do celów technologicznych (efektem badań była zrealizowana pod moją opieką praca magisterska na kierunku Ochrona Środowiska UP).

Moja aktywność naukowa była także odzwierciedlona **w pracy organizacyjnej i społecznej**, m.in. w Polskim Towarzystwie Hydrobiologicznym. W latach 2000-2006 pełniłem funkcję Sekretarza Zarządu Oddziału Lubelskiego, w latach 2006-2012 Przewodniczącego Zarządu a obecnie jestem członkiem Zarządu tego oddziału. W roku 2009 pełniąc funkcję Przewodniczącego Zarządu OL PTH, byłem jednym z głównych organizatorów 21 Zjazdu Hydrobiologów Polskich, który odbywał się w Lublinie w dniach 9-12 września 2009 roku. Byłem ponadto członkiem komitetu organizacyjnego Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Funkcjonowanie, zagrożenia i ochrona drobnych zbiorników wodnych”, która odbyła się w dniach 26-27 września 2013 roku w Janowie Lubelskim.

Uczestniczyłem także czynnie w wielu konferencjach naukowych krajowych i międzynarodowych, na których byłem autorem lub współautorem łącznie 35 doniesień naukowych, z czego 15 w języku angielskim.

W latach 2013-2015 byłem **recenzentem** 10 prac złożonych do publikacji w czasopismach, z czego 6 prac dotyczyło czasopism z listy JCR (Ecohydrology, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, Environmental Engineering and Management, Polish Journal of Environmental Studies).

Podsumowując, efektem mojej działalności naukowo-badawczej jest 76 opublikowanych prac, w tym: **12** artykułów w czasopismach z listy *Journal Citation Report*, posiadających *Impact Factor* (część A wykazu MNiSW), **24** artykuły w recenzowanych czasopismach z poza listy *Journal Citation Report* (część B wykazu MNiSW), **5** rozdziałów w monografiach naukowych oraz 35 doniesień naukowych. Sumaryczny *Impact Factor* publikacji, których jestem autorem (po doktoracie) wynosi **14,056** a łączna liczba punktów MNiSW równa jest **322**. Według bazy *Web of Science (Thomson Reuters)* publikacje, których jestem autorem lub współautorem były cytowane **228 razy** a indeks Hirscha wynosi **H = 3** (stan na marzec 2015 r.). Wykaz publikacji oraz szczegółowa informacja o osiągnięciach naukowych, dydaktycznych, organizacyjnych oraz na polu popularyzacji nauki znajduje się w Załączniku nr 4.

Uważam, że moja wiedza z zakresu ekologii wód śródlądowych i wieloletnie doświadczenie w prowadzeniu badań naukowych udokumentowane przedstawionym dorobkiem wraz z przedstawionym powyżej osiągnięciem naukowym upoważniają mnie do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego nauk biologicznych w dyscyplinie ekologia.

Wojciech Pęczuła