

Toruń, 10 lutego 2020

dr hab. Jarosław Kobak, prof. UMK  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych  
Instytut Biologii  
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń  
jkob73@umk.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Adama Ćmiela**  
**„Uwarunkowania siedliskowe międzygatunkowych różnic w biologii małży z rodziny**  
**skójkowatych (Unionidae)” (promotor: dr hab. Tadeusz Zajac, prof. IOP PAN)**

Niniejsza recenzja sporządzona została na podstawie dokumentacji otrzymanej przeze mnie 18 grudnia 2020 r. z Instytutu Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, w związku z wyznaczeniem mnie przez Radę Naukową IOP PAN do pełnienia funkcji recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. Adama Ćmiela. Recenzję wykonałem na podstawie dostarczonych mi materiałów:

- Kopii trzech artykułów wchodzących w skład rozprawy;
- Streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim;
- Omówienia podstaw teoretycznych, celów i wniosków wynikających z rozprawy;
- Oświadczeń Doktoranta i wszystkich współautorów o ich udziale procentowym w poszczególnych artykułach składających się na rozprawę.

Recenzowana rozprawa składa się z trzech artykułów naukowych opublikowanych w latach 2019-2020 w czasopismach umieszczonych w bazie Journal Citation Reports:

1. Ćmiel A.M., Zajac T., Zajac K., Lipińska A.M., Najberek K. 2019. Single or multiple spawning? Comparison of breeding strategies of freshwater Unionidae mussels under stochastic environmental conditions. *Hydrobiologia*, <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04045-8> (IF=2,325, Q1 wg. bazy Web of Science, 100 pkt wg. aktualnej listy czasopism MNiSW)
2. Ćmiel A.M., Zajac K., Lipińska A.M., Zajac T. 2019. Is *Pseudanodonta complanata* the most vulnerable of widespread European species of unionids? An intense stress test leading to a massive die-off. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29(12): 2185-2192 (IF=2,935, Q1, 100 pkt)
3. Ćmiel A.M., Strużyński A., Wyrębek M., Lipińska A.M., Zajac K., Zajac T. 2020. Response of freshwater mussel recruitment to hydrological changes in a eutrophic floodplain lake. *Science of the Total Environment* 703: 135467 (IF=5,589, Q1, 200 pkt)

Artykuły opatrzone są odpowiednimi zaświadczeniami współautorów, informującymi o ich wkładzie procentowym w przeprowadzone badania. We wszystkich pracach Doktorant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem (spośród 4-6 autorów), a jego wkład został oszacowany na 70% (2 prace) lub 60% (1 praca). Z całą pewnością można więc powiedzieć, że miał On dominujący udział w badaniach stanowiących podstawę ocenianej rozprawy.



Rozprawa jest zaopatrzona w 2-stronnicowe streszczenia w języku polskim i angielskim, a także 8-stronnicowy opis przedstawianych do oceny artykułów (w języku polskim), zawierający ogólny wstęp z tłem teoretycznym tematyki badawczej, omówienie celów badań oraz główne wyniki i wnioski. Omówienie to ukazuje także powiązania między poszczególnymi artykułami i łączy je w spójny cykl tematyczny.

Artykuły wchodzące w skład rozprawy zostały opublikowane w czasopismach o wysokiej lub bardzo wysokiej renomie międzynarodowej i restrykcyjnym procesie recenzyjnym. Rozprawa doktorska przedstawiona w formie serii opublikowanych wieloautorskich artykułów wskazuje na ważną zaletę Doktoranta: umiejętność pracy w zespole i korzystania z doświadczeń jego członków, co jest niezbędnym elementem warsztatu współczesnego badacza. W tym przypadku, dużym atutem Doktoranta była przynależność do zespołu badawczego o dużym doświadczeniu i znaczących osiągnięciach w dziedzinie ekologii i ochrony słodkowodnych małży, co zapewniło Mu niezbędne podstawy merytoryczne i zagwarantowało rzetelność uzyskanych wyników. W świetle powyższych faktów, formalną stronę rozprawy oceniam bardzo wysoko.

Małże z rodziny Unionidae stanowią bardzo ważną grupę organizmów zasiedlających środowiska słodkowodne Europy, Azji, Ameryki Północnej i Afryki. Mają one istotne znaczenie siedliskotwórcze, wpływają też znacząco na funkcjonowanie ekosystemów wodnych jako filtratory. Jednocześnie należą one do najbardziej zagrożonych organizmów wodnych na świecie. Wynika to z ich wysokich wymagań środowiskowych, skomplikowanego cyklu życiowego (początkową część życia spędzają jako glochidia – larwy pasożytujące na rybach), a także z silnej presji wywieranej przez człowieka na ich środowisko naturalne – wody śródlądowe. W faunie Polski występuje 6 rodzimych przedstawicieli tej rodziny, spośród których trzy są uważane za zagrożone i poddane ochronie prawnej (dwa spośród nich były badane w pracach wchodzących w skład ocenianej rozprawy). Niewykluczone jednak, że zmiany klimatyczne, postępująca degradacja środowisk wodnych oraz rozprzestrzenianie się organizmów inwazyjnych sprawią, iż do listy zagrożonych europejskich Unionidae dołączą kolejne gatunki. Dlatego bardzo istotne jest szczegółowe poznanie ich biologii i wymagań środowiskowych, a także rozpoznanie największych zagrożeń, na które mogą być narażone. Taka wiedza dostarczy naukowych podstaw ochrony tych organizmów, pozwalając na użytkowanie zasobów wodnych w bezpieczny dla nich sposób oraz na opracowanie metod i warunków poprawy kondycji istniejących populacji, a także reintrodukcji gatunków w miejscach, gdzie doszło do ich lokalnego wymarcia. Mimo licznych badań prowadzonych nad europejskimi małżami Unionidae, stan poznania ich biologii jest wciąż zdecydowanie niewystarczający. Doktorant trafnie wytypował istotne luki w naszej wiedzy na ten temat i zaplanował badania mające na celu ich wypełnienie. Dlatego bardzo wysoko oceniam wybór tematyki badawczej dokonany przez Autora ocenianej rozprawy.

Artykuły wchodzące w skład rozprawy dotyczą różnych aspektów wpływu czynników środowiskowych, a zwłaszcza nagłych zmian warunków otoczenia, na rozmieszczenie, przeżywalność i rozród małży Unionidae. Jedna z prac jest teoretyczna, oparta na modelowaniu matematycznym, a terenem badań dwóch pozostałych jest starorzecze rzeki Nidy – Zalew Pińczowski. W szczególności, poszczególne artykuły poruszają następujące zagadnienia:



1. Artykuł #1 przedstawia modelowanie zależności między warunkami środowiskowymi a liczbą lęgów wyprowadzanych przez małże w ciągu roku. Autorzy wskazują w jakich warunkach bardziej skuteczna jest strategia jednego lęgu rocznie (jednorazowe wyrzucanie wszystkich larw do toni wodnej), a kiedy powinna dominować strategia porcyjnego uwalniania potomstwa w dwóch lub więcej rzutach.
2. Artykuł #2 jest opisem incydentu masowego wymierania populacji kilku gatunków Unionidae w wyniku gwałtownego zaburzenia środowiskowego (użytkowanie łodzi motorowych na zbiorniku zasiedlonym przez małże). Autorzy zbadali, jakie czynniki środowiskowe są odpowiedzialne za wymieranie małży i jakie cechy osobników warunkują ich szanse przeżycia, a także porównali podatność poszczególnych gatunków na wymieranie.
3. Artykuł #3 przedstawia zmiany zachodzące w populacjach Unionidae w wyniku zabiegu rekultywacyjnego poprawiającego warunki ich bytowania w zbiorniku. Autorzy zidentyfikowali czynniki środowiskowe (głównie parametry hydrologiczne) warunkujące występowanie i rozmieszczenie juvenilnych małży Unionidae w stagnującym zbiorniku wodnym.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy należy zaliczyć:

1. Wykazanie znaczenia strategii rozrodczej (jednokrotne lub wielokrotne lęgi w ciągu roku) dla dostosowania małży Unionidae w zależności od warunków środowiskowych, w jakich dana populacja występuje. Autorzy wykazali, że strategia jednokrotnego lęgu lepiej sprawdza się w korzystnych warunkach siedliskowych (przy dużym prawdopodobieństwie skutecznej inwazji larw małży do żywicielskich ryb), a strategia porcyjnego uwalniania potomstwa jest skuteczniejsza w warunkach niekorzystnych dla larw.
2. Określenie różnic w śmiertelności różnych gatunków i klas wiekowych małży w odpowiedzi na gwałtowne zaburzenie środowiskowe, co pozwoliło na identyfikację najbardziej zagrożonych gatunków. Najbardziej podatnym na zaburzenie okazał się jeden z najrzadszych krajowych gatunków Unionidae – szczeżuja spłaszczona *Pseudanodonta complanata*.
3. Określenie właściwości fizyko-chemicznych wody skorelowanych z wymieraniem małży Unionidae. Znajomość tych parametrów może ułatwiać wykrywanie zaburzeń zagrażających małżom i zapobieganie takim zdarzeniom.
4. Wykazanie z dużym prawdopodobieństwem niekorzystnego wpływu nieodpowiedzialnego użytkowania sprzętu motorowodnego na małże Unionidae, w tym na gatunki rzadkie i chronione. Potwierdza to duży potencjał małży Unionidae jako gatunków parasolowych w środowiskach, w których występują.
5. Określenie znaczenia dynamiki wody w stagnującym zbiorniku (a nie tylko w ciekach), a także położenia stanowiska względem brzegu i lokalizacji dopływu, dla liczebności i rozmieszczenia juvenilnych osobników małży Unionidae, ze zwróceniem uwagi na różnice międzygatunkowe.
6. Opisanie pozytywnej zależności między zabiegiem rekultywacyjnym przeprowadzonym w zbiorniku wodnym a występowaniem i rozrodem małży Unionidae.



Badania wchodzące w skład rozprawy miały różnorodny charakter – były to zarówno prace terenowe jak i mieszczące się w zakresie biologii teoretycznej, polegające na modelowaniu matematycznym zjawisk przyrodniczych. Taka różnorodność stanowi dużą zaletę przedstawianego cyklu badań, ponieważ zapewnia wielostronne spojrzenie na uzupełniające się aspekty badań środowiskowych. Częstym problemem korelacyjnych badań środowiskowych jest trudność w znalezieniu zależności przyczynowo-skutkowych między konkretnymi czynnikami spośród wielu jednocześnie działających w środowisku naturalnym. Z kolei prace teoretyczne nie zawsze uwzględniają wszystkie ważne czynniki środowiskowe, przez co mogą nie odzwierciedlać realistycznych scenariuszy zachodzących w naturze. Kombinacja tych podejść pozwala na wzajemną kompensację wad obu metod i maksymalne wykorzystanie ich zalet, dając w efekcie pełniejszy obraz rzeczywistości.

Na uwagę zasługuje podejście zespołu autorskiego do opracowania danych terenowych, cechujące się wysokim poziomem analizy statystycznej i interpretacji uzyskanych wyników, wykraczających znacznie poza zwykły opis sytuacji i proste korelacje między zmiennymi. Pozwala to na wydobywanie cennych informacji ze złożonych układów, zawierających wiele współlistniejących i skorelowanych ze sobą zmiennych środowiskowych, co nie jest rzeczą łatwą do uzyskania. Jest to kolejny aspekt przedstawianej rozprawy, zasługujący w mojej opinii na bardzo wysoką ocenę.

W przypadku artykułu #2, warta podkreślenia jest umiejętność skorzystania z nadarzającej się okazji do przeprowadzenia wartościowych badań – „naturalnego eksperymentu” terenowego polegającego na wystąpieniu ekstremalnego zaburzenia środowiska na skutek użytkowania łodzi motorowej na akwenu zasiedlonym przez małże. Autorzy nie ograniczyli się tylko do opisu przypadku i skutków zdarzenia, ale przeprowadzili drobiazgową analizę środowiskową, pozwalającą na uzyskanie wielu cennych informacji o biologii różnych gatunków Unionidae.

Opublikowane artykuły podlegały już rygorystycznym recenzjom wydawniczym, przez co wolne są od większości uchybień i błędów technicznych, zwykle pojawiających się w pracach mających postać maszynopisu. Znacznie ułatwia to pracę recenzenta na obecnym etapie. Tym niemniej, moim obowiązkiem jest również wskazanie mankamentów ocenianej rozprawy. Podczas lektury prac wchodzących w jej skład, zauważyłem kilka drobnych niedociągnięć, dyskusyjnych fragmentów i spraw wymagających wyjaśnienia. Poniżej przedstawiam listę szczegółowych komentarzy do poszczególnych części recenzowanego tekstu:

1. Tytuł pracy „Uwarunkowania siedliskowe międzygatunkowych różnic w biologii małży...” sugeruje, że prezentowane wyniki będą dotyczyły zależności między cechami biologii małży a warunkami środowiskowymi, w których występują, a także próby określenia, jakie cechy osobników zwiększają ich dostosowanie w poszczególnych typach siedlisk. Inaczej mówiąc, po pracy o takim tytule oczekiwałbym wniosków typu „gatunki/osobniki występujące w siedliskach o cechach XYZ charakteryzują się cechami ABC”. Tymczasem tej tematyki dotyczy tylko artykuł #1 i, częściowo, artykuł #3 (choć nie jest to jego główny temat). Wydaje mi się, że wspólny tytuł łączący wszystkie trzy artykuły powinien raczej odnosić się do reakcji małży na zmiany i/lub zaburzenia środowiskowe. Zdaję sobie sprawę, że często tytuł rozprawy musi być ustalony na dość



wczesnym etapie procedury, podczas gdy tematyka badań może potem skrócić w nieprzewidywalnym kierunku, więc nie uważam tej rozbieżności za znaczące uchybienie. Z całą pewnością należy uznać, że wszystkie artykuły łączą się w jednorodny cykl badawczy i stanowią zwartą całość.

2. Artykuł #1. Autorzy zastosowali Ogólny Model Liniowy do zbadania wpływu różnych czynników na tempo wymierania populacji (extinction rate). Biorąc pod uwagę fakt, że zmienna ta była wyliczana jako frekwencja (procent przypadków, w których symulacja doprowadziła do wymarcia modelowanej populacji), czy nie należało by tu rozważyć zastosowania Uogólnionego Modelu Liniowego z rozkładem dwumianowym?
3. Artykuł #1. Moim zdaniem, warto rozszerzyć istniejący już model o dalsze zmienne, które prawdopodobnie działają w środowisku, wpływając na dostosowanie osobników wynikające z poszczególnych strategii rozrodczych, np.: (i) drapieżnictwo (np. ze strony dużych filtratorów, bezkręgowców, ryb) wobec uwalnianych glochidiów, które, w przypadku dużej intensywności, powinno raczej sprzyjać strategii jednego dużego lęgu rocznie; (ii) śmiertelność dorosłych osobników, która zależy od zupełnie innych czynników niż skuteczność zasiedlania ryb przez glochidia i również może sprzyjać jednorazowemu wyrzutowi potomstwa (jeśli prawdopodobieństwo śmierci w późniejszym okresie jest duże). Oczywiście, jest to bardziej propozycja kontynuacji ciekawego tematu niż krytyka pracy, która w obecnej formie stanowi już spójną całość.
4. Artykuł #1. Małże z rodzajów *Unio* i *Anodonta* często współwystępują na tych samych stanowiskach, a więc żyją w tych samych warunkach. W dyskusji przydałoby się zatem wyjaśnienie, skąd w takim razie biorą się ich odmienne strategie rozrodcze (odpowiednio: wielokrotne i jednokrotne lęgi).
5. Artykuł #2. Jako prawdopodobną przyczynę opisanego w pracy masowego wymierania małży Autorzy podają użytkowanie łodzi motorowej na badanym akwenie. Skoro zdarzenie to jest kluczowe dla opisywanych zjawisk, przydałoby się więcej szczegółów z nim związanych – liczba uczestniczących łodzi, czas pływania, moc silnika (w polskojęzycznym opisie wyników pojawia się informacja o „zbyt dużej” mocy, ale nic więcej).
6. Artykuł #2. Nie rozumiem w jaki sposób zostały obliczone zagęszczenia małży podane w tabeli 1. Każdy transekt miał pole powierzchni  $10 \text{ m}^2$ , tymczasem pojedynczy znaleziony osobnik dawał w efekcie zagęszczenie  $0,02 \text{ os./m}^2$ , co sugerowałoby powierzchnię 5-krotnie większą. Ponadto, martwe małże były również zbierane osobno z powierzchni wody – w jaki sposób te osobniki zostały uwzględnione w obliczeniach?
7. Artykuł #2. Autorzy wskazują podwyższone stężenie fosforanów i azotanów jako bezpośrednią przyczynę wymierania małży. Wydaje mi się, że powinny być rozważone jeszcze inne wyjaśnienia, moim zdaniem bardziej prawdopodobne. Zapewne silniki łodzi spowodowały intensywną resuspensję osadów, co wywołało warunki beztlenowe w zbiorniku na skutek rozkładu materii organicznej, która nagle dostała się w dużej ilości do toni wodnej. Efektem było podwyższenie stężenia fosforanów, które w warunkach beztlenowych zmieniają formę ze zdeponowanej w osadach na rozpuszczoną w wodzie. Jednak bardziej prawdopodobną przyczyną śmiertelności małży były same warunki beztlenowe w wodzie, a zmiany stężenia fosforanów można uznać za skutek uboczny, skorelowany z wymieraniem, ale niebędący jego przyczyną. Tak więc, zgadzam się z tezą,



że wymieranie było wynikiem hipoksji, jednak mogła ona wynikać z okresowego braku tlenu w otoczeniu, raczej niż z długotrwałego zamknięcia się małży.

8. Artykuł #3. O ile akceptuję i wysoko oceniam wartość odkrytych przez Autorów zależności między rozmieszczeniem małży i warunkami hydrologicznymi, to mam wątpliwości co do mocnych wniosków, jakie wysuwają. Oni odnośnie wpływu rekultywacji na populację małży. Autorzy dysponują wyłącznie jednym sezonem badań przed rekultywacją i dwoma sezonami po tym zabiegu. W związku z tym, nie można wykluczyć alternatywnych scenariuszy: (i) tendencja poprawy kondycji badanych populacji rozpoczęła się już wcześniej i tylko trwała dalej podczas wykonywania badań i zabiegów rekultywacyjnych; (ii) obserwujemy naturalne fluktuacje liczebności i rozmieszczenia młodocianych osobników, a nie stałą tendencję. Wprawdzie powiązanie przyczynowo-skutkowe zaproponowane przez Autorów wydaje się prawdopodobne, jednak na podstawie zaprezentowanych danych nie da się go wykazać ponad wszelką wątpliwość. Aby rozstrzygnąć te wątpliwości, niezbędne byłoby dysponowanie dłuższym szeregiem czasowym, albo obserwacjami z wielu zbiorników znajdujących się w podobnej sytuacji.
9. Artykuł #3. Generalnie, należy zachować ostrożność przy wskazywaniu zależności przyczynowo-skutkowych na podstawie badań korelacyjnych i nie nadużywać w opisach tego typu prac terminu ‘wpływ’ (influence, impact, effect, czasowniki to influence, to affect, etc.). Jest to dość częste uchybienie, od którego chyba nikt z nas nie jest całkiem wolny. Tym niemniej – trzeba uważać.
10. Artykuł #3. Kolejnym argumentem za zachowaniem ostrożności w wyrokowaniu o korzystnym wpływie rekultywacji na funkcjonowanie populacji małży jest fakt, że większość istotnych zależności związanych z rokiem badań (różnica 2015 vs. 2013 oraz interakcje między rokiem badań i innymi czynnikami) dotyczy samej obecności małży w zbieranych próbach (zmienna binarna presence/absence), podczas gdy ich liczebność nie zmienia się istotnie w kolejnych latach. O ile dobrze rozumiem układ danych do analiz, oznacza to, że małży po rekultywacji wcale nie było więcej (a przynajmniej nie istotnie więcej), tylko były inaczej rozmieszczone w terenie, zgodnie z ich preferencjami siedliskowymi. Niestety, trudno ocenić tendencje w liczebnościach młodocianych osobników. Autorzy podają procentowe udziały osobników juwenilnych w kolejnych latach, które rzeczywiście wskazują tendencję wzrostową, ale może to być również spowodowane ubytkiem osobników dorosłych (na co wskazuje analiza Rysunku 2, przedstawiającego strukturę wiekową populacji w kolejnych latach).

Powyższe uwagi krytyczne dotyczą głównie kwestii szczegółowych i nie zmieniają mojej ogólnej, bardzo wysokiej oceny całej rozprawy, która stanowi istotny wkład w literaturę światową dotyczącą europejskich małży Unionidae. Z całą pewnością, dzięki badaniom Doktoranta i Jego zespołu, wiemy dziś znacznie więcej o biologii i ekologii tych cennych przyrodniczo i zagrożonych w skali światowej organizmów. Uzyskane wyniki są bardzo ważne zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia, ułatwiając planowanie skutecznych metod ochrony i przywracania badanych gatunków w ich środowisku naturalnym. Na uwagę zasługuje bardzo wysoki poziom każdego etapu prowadzonych badań – od ich zaplanowania, poprzez wykonanie prac, analizę i interpretację danych, aż do napisania tekstu i wyboru odpowiedniego miejsca publikacji. Pozwoliło to na powstanie wartościowych

publikacji, docenionych przez redakcje wiodących międzynarodowych czasopism naukowych z dziedziny ekologii wód oraz nauk środowiskowych.

Stwierdzam, że rozprawa Pana mgr. Adama Ćmiela spełnia z dużym naddatkiem wszelkie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (art. 13 ustawy z 14 marca 2003 z późniejszymi zmianami – tekst jednolity: Dziennik Ustaw 2017, poz. 1789) na podstawie Ustawy Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (art. 179, ust. 1 ustawy z 3 lipca 2018, Dziennik Ustaw 2018, poz. 1669). Doktorant zaprezentował dużą wiedzę teoretyczną, wysoki poziom warsztatu naukowego oraz znajomość różnorodnych metod badawczych, co świadczy o Jego dojrzałości naukowej i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań. W związku z tym, wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie o dopuszczenie Go do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, ze względu na bardzo wysoki poziom merytoryczny przedstawionych mi do oceny prac oraz bardzo dużą wartość naukową uzyskanych wyników, co zostało potwierdzone także przez niezależnych recenzentów renomowanych czasopism naukowych, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



Jarosław Kobak