

Prof. dr hab. Krzysztof W. Opaliński
Professor emeritus
ORCID 0000 0002 9653 3383

Warszawa, 4 grudnia 2022 r.

**Ocena rozprawy doktorskiej
Pana Bartłomieja Jerzaka
„Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda w nerytycznych wodach Antarktyki (Zatoka Admiralicji), ze szczególnym uwzględnieniem trofii w świetle współczesnej zmiany klimatu”
wykonanej w Zakładzie Badań Planktonu Morskiego
Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego
pod kierunkiem Pani prof. dr hab. Marii Iwony Żmijewskiej
oraz Pani dr Aleksandry Zgrudno z Zakładu Funkcjonowania Ekosystemów Morskich**

Plankton Oceanu Południowego

Antarktyka, Ocean Południowy kojarzy się z kryłem – skorupiakiem *Euphausia superba*. Ale plankton Oceanu Południowego opiera się na trzech filarach. Pierwszy z nich to właśnie krył, najliczniejszy na Ziemi gatunek eukariota, opisany w 1850 roku przez Jamesa Dwighta Dana. Biologowie morza byli tak zafascynowani fenomenem kryla, że długo nie zwracali uwagi na inne organizmy planktonowe Antarktyki – równie duże jak krył, tyle że „galaretowate” osłonice Appendicularia. Pierwsze o nich wzmianki z Antarktyki pochodzą od Hardmana (1888) i Ihlego (1941). Do napisania trzech stron na temat Appendicularia Oceanu Południowego posłużyły Ilhemu materiały zebrane 42 lata wcześniej przez wyprawę „Belgica”, kto wie, czy nie rękami Dobrowolskiego lub Arctowskiego. Minęło znowu wiele lat, zanim doceniono rolę tego „gelatinous zooplankton” i uznano go za równorzędny z kryłem filar planktonu Oceanu Południowego (Pakhomov 2004, Atkinson et al. 2012).

Trzecim filarem, kto wie, czy nie najważniejszym, na którym opiera się funkcjonowanie ekosystemu pelagialu Oceanu Południowego, a śmiało można powiedzieć że i Wszechoceanu, są widłonogi Copepoda (jeżeli oczywiście niedługo nie okaże się, że jest nim bakterioplankton, pikoplankton czy generalnie – *microbial loop*). Zbiory zooplanktonu antarktycznego, w tym oczywiście i widłonogów, regularnie zaczęły prowadzić amerykańskie ekspedycje antarktyczne – kapitana Charlesa Wilkesa: *United States Exploring Expedition* w latach 1838–1842 i wyprawy HMS „Challenger” w latach 1873–1876. Ale prawdziwe zainteresowanie widłonogami antarktycznymi i ich rolą w pelagialu Oceanu Południowego zaczęło się 100 lat później – są to prace Farrona (1928), Vervoorta (1965), Brandforda (1971) oraz publikacje Marii Iwony Żmijewskiej dotyczące występowania, biologii, ekologii, struktury populacji, biomasy i diety dominujących gatunków widłonogów antarktycznych.

Dlaczego widłonogi są tak ważne dla ekosystemu Oceanu Południowego? Bo są małe i krótko żyją, mają więc krótki *turnover rate* (Schoener 1983), a ponadto ich stosunek produkcji do biomasy (P/B, patrz Winberg, 1971) jest wysoki. Stosunek ten zależy od wielkości organizmu (*ergo* – długości życia) i im mniejszy organizm, tym P/B jest wyższe (Banse, Mosher 1980), a

więc produkcja biologiczna osobnika, gatunku czy zespołu jest wyższa. Na tej podstawie Fransz i Gonzales (1995) oceniają, że widłonóg *Oithona similis* ma produkcję biologiczną najwyższą spośród zooplanktonu antarktycznego (*the production of Oithona similis may be the highest of all zooplankton species in the Antarctic region*), wyższą od produkcji kryla.

Krótki cykl życiowy, szybka zmiana pokoleń antarktycznych Copepoda powodują, że mogą one na bieżąco reagować na zmiany środowiskowe (porównaj Deibel, Lowen 2012). A właśnie obie strefy polarne naszej Planety są obszarami o szybko zmieniających się warunkach środowiskowych, na przykład ocenia się, że w Antarktyce w okresie 1957-1995 temperatura wzrosła o 1,3°C (van der Broeke 2000). Ten wzrost temperatury musiał zapewne pociągnąć za sobą zmianę warunków środowiskowych w pelagialu Oceanu Południowego – temperatury, zasolenia, zawiesiny, produkcji pierwotnej itp.

Rozprawa Bartłomieja Jerzaka

Czy te zmiany, których przyczyną jest ocieplenie się klimatu Ziemi mogły wpłynąć na funkcjonowanie zespołów Copepoda antarktycznych? Odpowiedź na tak postawione pytanie jest tematem rozprawy doktorskiej pana mgr Bartłomieja Jerzaka zatytułowanej „Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda w nerytycznych wodach Antarktyki (Zatoka Admiralicji), ze szczególnym uwzględnieniem trofii w świetle współczesnej zmiany klimatu” wykonanej w Zakładzie Badań Planktonu Morskiego Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego pod kierunkiem Pani prof. dr hab. Marii Iwony Żmijewskiej oraz Pani dr Aleksandry Zgrudno z Zakładu Funkcjonowania Ekosystemów Morskich tegoż Uniwersytetu.

Jako wyznaczniki funkcjonowania zespołów Copepoda Doktorant wybrał wieloletnie zmiany parametrów populacyjnych (zagęszczenie, struktura wiekowa), parametrów biometrycznych (długość całkowita, długość prosomy i urosomy, szerokość prosomy) oraz parametry troficzne (stan wypełnienia przewodów pokarmowych i skład jakościowy pokarmu) dominujących gatunków Copepoda (*Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Metridia gerlachei* i *Rhincalnus gigas*) w pelagialu Zatoki Admiralicji na wyspie króla Jerzego w antarktycznym archipelagu Szetlandów Południowych.

Badania były prowadzone na materiale planktonowym zebrany na dwu stałych stanowiskach w centralnej części Zatoki w sezonach letnich 1994-95, 2003-4 (całoroczne), 2008-09 i 2015 (zbierane własnoręcznie). Pomiary morfometryczne prowadzono na 50 osobnikach każdego stadium każdego gatunku z każdej próbki, pomiary wielkości peletów kałowych – na 15 osobnikach każdego stadium każdego gatunku z każdej próbki. W wypreparowanych peletach kałowych o zmierzonych rozmiarach analizowano skład treści pokarmowej zwierząt. Największą zaletą tej pracy jest wewnętrzna spójność metodologii – cały materiał, również ten historyczny, został opracowany na nowo, według tych samych reguł, na tym samym sprzęcie i przez tego samego badacza (dziwne, że w „*Good Laboratory Practices*” opracowanych przez OECD nie ma słowa o takiej właśnie praktyce). Do analizy składu pokarmu zwierząt

zastosowane zostały nowoczesne metody – cyfrowa analiza obrazu mikroskopowego, mikroskopia elektronowa i spektroskopia rentgenowska.

Otrzymane wyniki przedstawiono w formie dobrze pomyślnych, przejrzystych wykresów. Natomiast tabele od I do IX znajdują się w tekście i są w tekście cytowane, a pozostałe – od X do XLVI znajdują się w Aneksie i nie są cytowane w tekście. Jeżeli Aneks stanowi niezależną od tekstu jakość, to tabele powinny mieć niezależną numerację. Ale rozumiem intencję Autora - dublowanie numeracji tabel od I do IX spowodowałoby zamieszanie. A na dodatek Aneks na płycie jest czymś innym niż Aneks drukowany - to raczej protokoły przeprowadzonych badań i chyba nie koniecznie trzeba zamieszczać je w rozprawie. Na szczęście w tym elektronicznym Aneksie tabele są nienumerowane. Ale to są tylko technikalnia, nie wpływające na *meritum* rozprawy.

Praca jest dobrze osadzona w literaturze – każde stwierdzenie jest poparte wieloma odnośnikami literaturowymi, co świadczy o znajomości piśmiennictwa i umiejętności jego wykorzystania przy przedstawianiu i dyskusji swoich wyników.

Pod względem formalnym rozprawa ma poprawną konstrukcję, powszechnie przyjętą dla przyrodniczych publikacji naukowych i rekomendowaną do rozpraw „na stopień” przez Januarego Weinerja (1998 -Technika pisania i prezentowania przyrodniczych prac naukowych) czy Gastel i Day (2016 - *How to Write and Publish a Scientific Paper*). Umieszczenie większości spośród ponad czterdziestu tabel materiałowych w Aneksie ułatwia czytanie pracy, a jednocześnie umożliwia sięgnięcie zainteresowanemu do materiału źródłowego.

Analizowany przez Autora trzynastoletni okres (1994-2015) z którego pochodzi badany materiał zwierzęcy, to okres szybkich (ale w skali geologicznej) zmian środowiskowych w strefach nerytycznych Oceanu Południowego. W okresie tym nastąpiło po sobie 13 pokoleń widłonogów (w skali ludzkiej to jak od wojen szwedzkich do dziś), można się więc spodziewać, że w parametrach populacyjnych, a i fizjologicznych (generalnie – funkcjonowaniu w ekosystemie) skorupiaków antarktycznych mogły zajść pewne zmiany adaptacyjne do zmieniających się warunków środowiskowych.

Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda: liczebność i wzrost

Na podstawie analizy zmian demograficznych poszczególnych gatunków Copepoda Autor stwierdził, że w badanym okresie populacja *Metridia gerlachei*, gatunku wszystkożernego, w którego diecie spotykane są również skorupiaki, a występującego w głębszych warstwach pelagialu Zatoki Admiralicji, nie uległa zauważalnym zmianom, zarówno pod względem liczebności, jak i struktury wiekowej. Można wnioskować, że wszystkożerność z i zasiedlenie głębszych warstw (100-200m) skutecznie izoluje ten gatunek od zmian klimatycznych wpływających na powierzchniowe warstwy morza.

Nieco inaczej przedstawia się sytuacja fitofaga przebywającego latem w warstwach powierzchniowych, jakim jest *Rhincalanus gigas*. Struktura wiekowa tego gatunku w badanym okresie nie uległ wielkim zmianom, za to liczebność wzrosła. Autor, za danymi literaturowymi, wzrost ten tłumaczy zmniejszeniem presji konkurencyjnej ze strony kryla, którego liczebność w tym czasie wzrasta.

Analogiczne zmiany Autor stwierdza badając liczebność i strukturę wiekową populacji zdeklarowanego roślinożercy jakim jest *Calanoides acutus* i w populacji *Calanus propinquus*, gatunku znacznie bardziej elastycznego pod względem pokarmu, nawet zimą preferującego powierzchniowe warstwy morza. Podobnie jak w przypadku *R. gigas* Autor tłumaczy wzrost liczebności tych gatunków spadkiem presji konkurencji pokarmowej ze strony kryla.

Podkreślić należy, że zaobserwowane przez siebie w Zatoce Admiralicji zmiany liczebności i struktury populacji badanych gatunków Autor konfrontuje z wcześniejszymi danymi literaturowymi dotyczącymi Zatoki i sąsiednich akwenów Antarktyki i stwierdza, że dane te są zbliżone.

Nieco bardziej skomplikowane są wyniki badań biometrycznych widłonogów Zatoki Admiralicji. Od czasów Christiana Bergmanna (1847) wiadomo, że w niższej temperaturze zwierzęta są większe i *vice versa* (Aguilar-Alberola i Mesquita-Joanes 2014), co działa również w przypadku wzrostu temperatury środowiska (ocieplenia klimatu - Daufresne, Lengfellner i Sommer 2009). Ponieważ poszczególne stadia rozwojowe widłonogów zajmują w strefie nerytycznej Zatoki różne habitaty o nieco różnych warunkach środowiskowych (w tym o różnej temperaturze), wpływ na nie *Temperature-Rule* - Zasady termicznej - jest różny. W przypadku *Metridia gerlachei* zaobserwowano zmniejszenie się długości ciał kopepoditów CV i samic, u pozostałych gatunków – zwiększenie rozmiarów ciała kopepoditów CIV, CV i samic. Autor nie komentuje tego zjawiska. Ale można przypuszczać, że zadziałał tu inny czynnik środowiskowy, pośrednio wynikający z ocieplenia klimatu – wyższa produkcja pierwotna, większa dostępność pokarmu. Może lepsze warunki troficzne spowodowały zwiększenie rozmiarów ciała (patrz Linse, Barnes i Enderlein 2006) „przebijając” *Temperature-Rule*?

Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda: odżywianie

Odpowiedź na pytanie co, a szczególnie ile tego czegoś jedzą drobne filtratory w warunkach naturalnych, *in situ*, jest bardzo trudna. Wiadomo, że jedzą seston, czyli żywą i martwą zawiesinę. Względna ilość zjedanego pokarmu można szacować na podstawie stopnia wypełnienia przewodu pokarmowego i czasu pasażu pokarmu, jakość tego pokarmu jeszcze mniej dokładnie można oszacować na podstawie analizy zawartości części niestrawialnych w przewodzie pokarmowym i w peletach kałowych – chitynowych lub mineralnych elementów struktur szkieletowych roślin i zwierząt (okrzemek, skorupiaków). Już samo wypreparowanie przewodu pokarmowego z kilkumilimetrowego zwierzęcia jest sztuką, a co dopiero

wypreparowanie z niego treści pokarmowej czy peletów kałowych. Dlatego badania tego typu są w literaturze rzadkością.

Podjęcie badań nad zawartością przewodów pokarmowych widłonogów antarktycznych przez pana Jerzaka było więc wielkim wyzwaniem – nie tylko naukowym, ale chyba przede wszystkim technicznym i logistycznym – wypreparowanie, przejrzanie i pomierzenie setek przewodów pokarmowych i peletów wymagało zegarmistrzowskiej precyzji i benedyktyńskiej cierpliwości oraz czasu. Ale się opłacało. Dla samego stwierdzenia, że najbardziej planktonowe z planktonowych widłonogi odżywiają się czasem osadami dennymi.

W przypadku wszystkich czterech gatunków widłonogów z Zatoki Admiralicji w badanym okresie Autor stwierdził spadek udziału osobników z wypełnionym przewodem pokarmowym oraz zmniejszenie się wielkości peletów kałowych. To dziwne zjawisko (bo baza pokarmowa – produkcja pierwotna – teoretycznie wzrosła) Autor tłumaczy zmianami struktury troficznej w pelagialu Zatoki. Zmiany te (na przykład pojawienie się gatunków okrzemek o zbyt dużych rozmiarach, nie dających się zjeść przez badane widłonogi) prawdopodobnie wymusiły przejście badanych gatunków widłonogów na odżywanie się pokarmem nie tworzącym peletów kłowych (str.104). Sam Autor pisze dalej, że hipoteza ta („suboptymalne rozmiary cząstek fitoplanktonu”) jest do sprawdzenia, ale to wymaga odrębnych studiów nad fitoplanktonem Zatoki i jego przebudową związaną ze wzrostem temperatury.

Analiza mikroskopowa peletów kałowych Copepoda Zatoki Admiralicji wykazała kilka ważnych faktów: skład pokarmu widłonogów Zatoki nie odbiega od składu pokarmu tych samych gatunków z innych rejonów Oceanu Południowego, czego, biorąc pod uwagę otwarty charakter Zatoki, można było się spodziewać. Skład gatunkowy okrzemek w pokarmie Copepoda odpowiadał ich składowi gatunkowemu w planktonie, ale w pokarmie znajdowały się również okrzemki bentosowe i spikule gąbek (dotychczas nie odnotowywane w literaturze z peletów Copepoda), co wskazywałoby, zdaniem Autora, na żerowanie widłonogów na dnie Zatoki w celu uzupełnienia pokarmu. Ten fakt i ta konstatacja całkowicie zmienia nasze myślenie o funkcjonowaniu organizmów planktonowych, o ich elastyczności pokarmowej i behawioralnej oraz możliwościach wykorzystywania alternatywnych źródeł pokarmu.

W badanym okresie Autor odnotowuje zubożenie składu jakościowego pokarmu Copepoda, za wyjątkiem *Calanus propinquus*, którego dieta z czasem staje się bogatsza. Jest to jeden z powodów, ze względu na który Autor uważa ten właśnie gatunek za dobrze adaptujący się do zmieniających się warunków środowiskowych w Zatoce (w Antarktyce).

Pisząc o zmianach w odżywianiu się Copepoda w badanym przez siebie okresie, jako przyczyny tych zmian Autor zakłada „zmiany w zbiorowiskach fitoplanktonu, stanowiących bazę pokarmową Copepoda jak i stale zwiększający się dopływ zawiesiny mineralnej z topniejących lodowców”. Założenia te zapewne są słuszne, ale wymagają (szczególnie to drugie) próby wyjaśnienia mechanizmów działania wymienionych czynników na Copepoda, bo sam związek

tych czynników ze zmianami klimatycznymi nie podlega dyskusji. Z badań Zakładu Ekologii Morza Instytutu Oceanologii PAN wynika, że w zatokach przylodowcowych Spitsbergenu zawiesina niesiona przez wody lodowcowe „zatyka” i przez to zabija filtratory bentosowe. W przypadku widłonogów Zatoki Admiralicji musi to być inny mechanizm, bo ich liczebność wzrasta.

Brakujący rozdział

Atkinson *et al.* (2004) na podstawie analizy danych literaturowych stwierdzili, że w minionym stuleciu w Oceanie Południowym nastąpił spadek liczebności kryla oraz wzrost liczebności Appendicularia i wiążą to zjawisko ze spadkiem zalodzenia wód antarktycznych i wzrostem ich temperatury. Z kolei Cox *et al.* (2018) zarzucają Atkinsonowi i współpracownikom niewłaściwe wykorzystanie danych historycznych, niewłaściwą interpretację wyników i szereg innych niedociągnięć metodycznych – według badań tych autorów populacja kryla nie zmienia się pomimo zmian środowiskowych.

W przypadku pracy pana Jerzaka Cox nie miałyby do czego się przyczepić – wszystkie dane historyczne były przez Doktoranta opracowane od nowa, według ujednoczonych metod i przez jednego badacza, co wyklucza różnice techniczne i interpretacyjne. Porównanie parametrów populacyjnych, biometrycznych i troficznych kilku gatunków widłonogów na przestrzeni lat to było przedsięwzięcie bardzo ambitne, obejmowało ogromny zakres prac i ogromną ilość „przerobionego” materiału zwierzęcego. Wszystko po to, aby móc śmiało powiedzieć: tu zmiany są, tu tylko trendy, a tu zmian nie ma. I w tym widzę największą zaletę rozprawy pana Jerzaka – jest ona oparta na dobrze dobranych parametrach i zunifikowanej metodyce ich pomiarów, co umożliwia interpretację wpływu zmian klimatycznych na zmiany w funkcjonowaniu antarktycznych Copepda. Wpływ ten okazuje się nieznaczny a często niejednoznaczny, dlatego Autor przede wszystkim przedstawia fakty i tylko bardzo ostrożną ich interpretację. W tym miejscu aż chce się zacytować Coxa wraz ze współpracownikami: „Sugerujemy, że paradygmaty, które leżą u podstaw niedawnego myślenia o zmianach klimatycznych (...) w ekosystemie morskim Antarktydy muszą zostać ponownie przeanalizowane w świetle tych odkryć” (*We suggest that paradigms that underlie much of the recent thinking about climate-driven change in the Antarctic marine ecosystem need to be revisited in the light of these findings*).

January Weiner we wspomnianym już podręczniku pisze: „Dyskusja jest bodaj najciekawszą częścią całej pracy. Tutaj autor formułuje wnioski i uzasadnia je za pomocą swoich (i cudzych) wyników, tutaj daje popis swojej inwencji twórczej, tutaj projektuje dalszy rozwój swojej dziedziny, „fantazjuje” o konsekwencjach teoretycznych i praktycznych”. I w rozprawie pana Jerzaka zabrakło mi tego rozdziału Dyskusji z „fantazjowaniem”. W Wynikach i w Dyskusji przedstawione zostały twarde fakty i zarysowane na podstawie literatury ich tło (zmiany temperatury i przebudowa zespołu fitoplanktonowego). I tylko w dwu miejscach Autor snuje kilkudzaniowe rozważania na temat przewidywanych skutków zmian w funkcjonowaniu Copepoda – „... jeżeli opisane trendy się utrzymają, to w przyszłości można oczekiwać

zmniejszania się wymiarów ciała u dorosłych przedstawicieli *M. gerlachei*, z równoczesnym zwiększeniem u *R. gigas* i *C. propinquus*. Natomiast w przypadku samic *C. acutus* średnia długość ciała będzie mniej więcej wyrównana w czasie” (str.101) oraz „Należy zakładać, że ten drugi czynnik [zawiesina] w dłuższej perspektywie czasowej może mieć skrajnie negatywny wpływ na populacje organizmów filtrujących” (str.117).

Oczywiście tematem rozprawy były zmiany, jakie zaszły, a nie jakie zajdą w kilku parametrach życiowych widłonogów Zatoki Admiralicji. Ale ciekawy byłby scenariusz przyszłych zmian w ekosystemie Zatoki i porównanie go ze scenariuszem stworzonym dla Spitsbergenu pod wpływem zachodzącej w wodach okalających Spitsbergen wymiany dużych Copepoda arktycznych na małe atlantyckie na skutek zmian klimatycznych (Stempniewicz *et al.* 2007).

Podsumowanie

Rozprawę doktorską pana mgr Bartłomieja Jerzaka zatytułowaną „Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda w nerytycznych wodach Antarktyki (Zatoka Admiralicji), ze szczególnym uwzględnieniem trofii w świetle współczesnej zmiany klimatu” uważam za bardzo dobrą, wnosząca nowe wartości do dotychczasowego stanu wiedzy w dziedzinie oceanografii. Zgodnie z Art.13 punkt 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595): „Rozprawa doktorska ... powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne dokonanie artystyczne oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”. Przedstawiona rozprawa spełnia te wymagania.

Przygotowując swoją rozprawę doktorską pan mgr Bartłomiej Jerzak wykazał, że jest w pełni dojrzałym pracownikiem naukowym, umie podejmować trudne zadania badawcze, opanował nowoczesny warsztat naukowy. Uważam, że Jego praca spełnia kryteria stawiane rozprawom doktorskim przez przytoczoną wyżej Ustawę i wnioskuję do Rady Dyscypliny Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie rozprawy „Wybrane aspekty funkcjonowania Copepoda w nerytycznych wodach Antarktyki (Zatoka Admiralicji), ze szczególnym uwzględnieniem trofii w świetle współczesnej zmiany klimatu” Bartłomieja Jerzaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Krzysztof W. Opaliński



