

Dr hab. Małgorzata Witak, prof. UG

Gdynia, 10 03 2022

Zakład Geologii Morza

Instytut Oceanografii UG

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR. ADRIANA KRYKA**

**pt. „Rekonstrukcja warunków oceanograficznych u wybrzeży południowo-zachodniej Grenlandii w późnym plejstocenie i holocenie w świetle analizy okrzemkowej osadów oceanicznych” wykonanej w Instytucie Nauk o Morzu i Środowisku US pod opieką naukową Pana prof. dr. hab. Andrzeja Witkowskiego oraz Pani dr Diany Krawczyk.**

Rejony polarne, w tym Arktyka, uznawane są za obszary, w których obserwowane obecnie zmiany klimatyczne są szczególnie silne, a ich skutki mają nieproporcjonalnie duży wpływ na środowisko. Wzrost koncentracji gazów cieplarnianych emitowanych w wyniku gospodarczej działalności człowieka od początku XIX wieku, przejawiający się głównie stale rosnącym stężeniem dwutlenku węgla i metanu w atmosferze, skutkuje wzrostem średniej temperatury Ziemi o ok. 0,8 °C. W przypadku obszarów arktycznych wzrost temperatury jest aż trzykrotnie wyższy niż średnia ogólnoświatowa (Piskozub 2012). Konsekwencją globalnego ocieplenia jest recesja lodowców górskich i kontynentalnych oraz redukcja zasięgu i miąższości lodu morskiego w rejonach polarnych. Wyniki interdyscyplinarnych badań wskazują na zmniejszenie pokrywy lodowej Arktyki aż o 12% w stosunku do lat 80. XX wieku (Comiso, 2012). Ograniczenie zasięgu lodu morskiego w Arktyce jest również konsekwencją tzw. atlantyfikacji czyli wzmożonego napływu ciepłych i zasolonych wód atlantyckich, co w istotny sposób wpływa na warunki środowiskowe, w tym cyrkulację mas wód, stosunki termiczne i zasoleniowe oraz produktywność i bioróżnorodność ekosystemów (Polyakov et al. 2017).

Ocena dalekosiężnych skutków fluktuacji klimatu oraz zmian cyrkulacji wód oceanicznych w skali regionalnej oraz globalnej może być jedynie oparta na naukowych dowodach zarejestrowanych w osadach Wszechoceanu. Stąd prowadzone na szeroką skalę interdyscyplinarne badania naukowe, w tym studia biostratygraficzne i geochemiczne wsparte odpowiednim datowaniem mają kluczowe znaczenie dla poznania zdarzeń z przeszłości, jak również predykcję zdarzeń w przyszłości.

W ten aktualny i niezmiernie istotny nurt badawczy wpisuje się praca doktorska Pana mgr. Adriana Kryka. Recenzowaną rozprawę stanowi monograficzne opracowanie składające się z ponad 130 stron zasadniczego tekstu uzupełnionego spisem rycin i tabel oraz bibliografią obejmującą ponad 250 pozycji literaturowych, głównie z XXI wieku. Monografię zamyka streszczenie rozprawy w języku polskim i angielskim oraz 3 załączniki prezentujące: (1) listę prób pobranych do datowania  $^{14}\text{C}$ , (2) listę zidentyfikowanych taksonów (a nie gatunków) okrzemek i ich frekwencję (a nie liczebność) podaną w klasach w poszczególnych próbach oraz (3) dokumentację fotograficzną przedstawiającą na 3 planszach 80 zdjęć LM 16 taksonów oraz na dalszych 2 planszach 11 zdjęć SEM 7 taksonów okrzemek. Do monografii Autor dołączył również rozprawę doktorską z załącznikiem 2 na płycie CD. W rozprawie używane są akronimy często stosowanych terminów metodycznych, oceanograficznych i klimatycznych, których lista poprzedza zasadniczy tekst, co ułatwia zrozumienie jego treści, zestawień tabelarycznych i rycin.

W pierwszym podrozdziale wstępu Doktorant skupił się na omówieniu zależności systemu klimatycznego Ziemi z globalną cyrkulacją oceaniczną, ze szczególnym uwzględnieniem kluczowej roli północnej części Atlantyku, w tym Mórz Nordyckich i Oceanu Arktycznego w podtrzymaniu cyrkulacji termohalinowej, która jest głównym mechanizmem napędzającym prądy morskie. W drugiej części wstępu Autor przedstawił ogólną charakterystykę flory okrzemkowej, w tym zarys jej klasyfikacji taksonomicznej, środowisko występowania, budowę krzemionkowych pancerzyków okrzemek oraz ich bioindykacyjne walory. W tym miejscu, chcę zwrócić uwagę, że dominacja okrzemek planktonowych żyjących w toni wodnej oraz bentosowych związanych w różny sposób z dnem zbiornika, nie jest związana z jego rozmiarami, jak sugeruje Doktorant (str. 18), a z jego głębokością. Na przykład w niewielkich i głębszych jeziorach w tafocenozach okrzemkowych dominuje plankton, nie zaś bentos. Następnie Autor opisał znaczenie funkcji transferowej, w której cechy zbiorowiska współczesnego stanowią bazę informacyjną dla

ilościowej rekonstrukcji rozmaitych parametrów zbiornika np. temperatury i zasolenia. Przedstawił również historię badań diatomologicznych w północnej części Atlantyku opartych na tej metodzie poczynając od pionierskich rezultatów Koç Karpuz i Schrader opublikowanych w 1990 r.

Na tle dotychczasowych dokonań naukowców celowym i ważnym było podjęcie badań w ramach realizacji pracy doktorskiej mgr. Adriana Kryka finansowanych ze środków krajowych (dotacja celowa MNiSW dla młodych doktorantów oraz NAWA) i zagranicznych (Tips- of lotto pulje C oraz Ministerstwo Edukacji, Kultury, Sportu i Kościoła Grenlandii). Pan Magister podjął się ambitnego, trudnego i pracochłonnego zadania oceny kierunku i dynamiki holocenijskich zmian oceanograficznych w słabo poznanym systemie fiordów Godthåb w południowo-zachodniej Grenlandii. Materiałem badawczym były dwa rdzenie osadów pobrane sondą grawitacyjną z dna dwóch odrębnych obszarów tj. SA13-ST3-20G (dł. 5,87 m; głęb. 498 m) z zewnętrznej części systemu sięgającego strefy szelfowej oraz SA13-ST6-40G (dł. 5,62 m; głęb. 389 m) z wewnętrznej jego części. Nie jest jasne jaka liczba próbek została poddana analizom. W tabeli 1 wpisano odpowiednio 113 i 141 próbek czyli w sumie 254, a nie 287 jak widnieje w tekście (str. 52). W części metodycznej brakuje informacji o wykorzystaniu krótkich rdzeni z tych samych stanowisk pobranych z użyciem sondy Rumohr-Lot. Te informacje umieszcza Autor dopiero w Wynikach, w podrozdziale 4.1 (str. 70).

Niemniej jednak należy podkreślić, że taka lokalizacja rdzeni pozwoliła Doktorantowi na szczegółowe prześledzenie czasowo-przestrzennych zmian oceanograficznych w przeszłości. Uczynił to obierając słuszną strategię badawczą opartą na nowoczesnym warsztacie metodycznym. Na podstawie funkcji transferowej z zastosowaniem zestawu lokalnych danych kalibracyjnych pozyskanych z mórz Baffina-Labradorskiego dokonał ilościowej rekonstrukcji trzech podstawowych parametrów tj. SST – temperatury wód powierzchniowych, SSS – zasolenia wód powierzchniowych oraz SIC – koncentracji lodu morskiego. Ponadto w celu określenia frekwencji zidentyfikowanych taksonów wykonał jakościową analizę okrzemkową. Preferencje autekologiczne okrzemek zostały określone na podstawie analizy CCA z wykorzystaniem bazy danych zbiorowiska współczesnego, co pozwoliło na wyodrębnienie 4 grup ekologicznych obejmujące gatunki (1) związane z lodem morskim, (2) wód wolnych od lodu morskiego, (3) atlantyckie oraz (4) bentosowe. Uzyskane rezultaty posłużyły do wyznaczenia lokalnych poziomów okrzemkowych LDAZ w każdym rdzeniu. Żałować jednak należy, że w części metodycznej nie ma wyjaśnienia podstaw

zdefiniowania jednostek biostratygraficznych. Takie wyjaśnienie otrzymujemy dopiero w opisie wyników w podrozdziale 4.2.2, w którym widnieje informacja, że podstawą biostratygrafii osadów była analiza podobieństwa metodą Bray-Curtis. Doktorant oszacował również w obu rdzeniach koncentrację okryw okrzemek w 1 gramie suchego osadu. Cennym uzupełnieniem w rekonstrukcji zdarzeń zarejestrowanych w materiale badawczym było wykorzystanie wyników analiz geochemicznych przeprowadzonych na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Aarhus, w tym stężenia pierwiastków lądowego pochodzenia (Fe, Ti, Si) oraz związanych ze środowiskiem morskim (Br, Ca).

Wiek osadów oszacowano metodą AMS  $^{14}\text{C}$  w laboratoriach w Zurychu, Ottawie i Aarhus. W przypadku rdzenia SA13-ST3-20G wiek oparty na 32 datach radiowęglowych obejmujących przedział od 0,62 do 5,14 m głębokości rdzenia, skalibrowanych przy użyciu krzywej kalibracyjnej Marine13, wskazuje na ostatnie  $11\,724 \pm 186$  lat. W drugim rdzeniu uzyskano 7 dat z głębokości 0,5 – 4,04 m, a ich kalibrację przeprowadzono z zastosowaniem krzywej Marine20. Wiek osadów spoza zakresów datowań wyznaczono na podstawie ekstrapolacji liniowej z zastosowaniem modelu sedymentacji z rozkładem Poissona. Wyniki wskazują, że wiek spągu rdzenia SA13-ST6-40G wynosi  $10\,981 \pm 478$  lat. Rezultaty te posłużyły do oszacowania tempa akumulacji w wewnętrznej części systemu fiordów Gothåb oraz w strefie szelfowej.

W kontekście uzyskanych wyników datowań trudno się zgodzić z opinią Doktoranta, że materiał badawczy rozprawy doktorskiej obejmuje, zgodnie z tytułem, osady deponowane w późnym plejstocenie i holocenie. Zgodnie z wytycznymi International Commission on Stratigraphy granica epok plejstoceńskiej i holocenińskiej została wyznaczona na 11 700. Przypuszczam, że Pan Magister wziął pod uwagę granicę błędu wieku spągu dłuższego rdzenia SA13-ST3-20G pobranego z szelfu, (rdzeń SA13-ST6-40G obejmuje wyłącznie holocen), ale czy na tej podstawie można dokonać rekonstrukcji warunków oceanograficznych u wybrzeży południowo-zachodniej Grenlandii w późnym plejstocenie? Ma z tym kłopoty również sam Autor dysertacji. W podrozdziale 1.4 (str. 27) pisze (cyt.) *"Prezentowane wyniki..... obejmują cały holocen tj. okres około 12 tysięcy lat"*. W trzech celach badawczych (str. 30), które zawsze stanowią o wartości pracy badawczej, Doktorant nic nie wspomina o późnym plejstocenie lub późnym glacie. W tabeli 5 w rozdziale 4.1 (str. 70) wiek najstarszych osadów rdzenia SA13-ST3-20G określono na 11,7 ka czyli początek holocenu. Analogicznie, w podrozdziale 4.3.1 w opisie LDAZ1 tego rdzenia Doktorant precyzuje wiek poziomu

na 11,7 – 9,6 ka (str. 77), zatem wyznacza dolną jego granicę na początek holocenu. Autor zamieszcza w Dyskusji w podrozdziale 5.1.1 interesujący wywód o zmianach temperatury, zasolenia i cyrkulacji termohalinowej Północnego Atlantyku, ale w oparciu o aktualne źródła literaturowe, słusznie podkreślając znaczenie procesów zachodzących w młodszym dryasie, stanowiących swoistą bazę do zrozumienia ewolucji obszaru badań w holocenie. Krótki komentarz w postaci kilku zdań do rdzenia SA13-ST3-20G na końcu tego podrozdziału jest niewystarczający. Kończąc ten wątek dodam, że we wnioskach również Autor nigdzie nie zamieścił informacji o zmianach paleoceanograficznych badanego obszaru w późnym plejstocenie.

Bardzo mocną stroną rozprawy doktorskiej są wyniki badań, w których w wielu miejscach doszukać się można krytycznego spojrzenia Autora, co świadczy o Jego dojrzałości. W pierwszej części Doktorant przedstawia zmiany tempa akumulacji w kolejnych interwałach czasowych na szelfie oraz w wewnętrznej części Godhåbsfjord. Następnie, opisuje główne taksony okrzemkowe dla obu rdzeni oraz ich przynależność do jednej z czterech grup ekologicznych, co służy do przedstawienia w szczegółach charakterystyki lokalnych poziomów okrzemkowych. W poszczególnych jednostkach biostratygraficznych obu rdzeni wyznaczono interwał czasowy, któremu odpowiada LDAZ, opisano strukturę tafocenoz okrzemkowych oraz wynikające z funkcji transferowej parametry ówczesnego zbiornika tj. SST, SSS i SIC. Ta część rozprawy wnosi bardzo ciekawy, precyzyjny zapis zmienności zbiorowisk okrzemek, który przekłada się na ilościową rekonstrukcję wymienionych parametrów. Niemniej jednak mam kilka uwag natury technicznej do tej części monografii. Tytuł podrozdziału 4.3. w moim przekonaniu jest niezręczny, zamiast „*Stratygrafia okrzemek*”, powinien brzmieć „*Stratygrafia (lub Biostratygrafia) osadów*”. W podrozdziale 4.3.2 obejmującym biostratygrafię rdzenia SA13-ST6-40G niepotrzebne są porównania do rdzenia SA13-ST3-20G, ta rzecz należy do dyskusji wyników. Ponadto przyznaję, że śledzenie skądinąd słusznego wyводу dotyczącego charakterystyki kolejnych tafocenoz okrzemkowych utrudniał mi fakt zamieszczenia 3 kluczowych rycin na końcu tej części tekstu.

W kolejnym podrozdziale Autor skupia się na przedstawieniu wskaźników (a nie miar) produktywności okrzemek, w tym koncentracji okryw nazwanych zagęszczeniem oraz bogactwa gatunkowego. W opisie wskaźników produktywności w rdzeniu SA13-ST6-40G (str. 84) znalazły się sprzeczne informacje. W pierwszym zdaniu ostatniego akapitu Autor pisze (cyt.) „.....*obie miary produktywności nie wykazały znaczących zmian w osadach całego holocenu*”,



by pod koniec stwierdzić „*Bogactwo gatunkowe osadów rdzenia SA13-ST6-40G.... w okresie 2,5-0,18 tys. lat BP charakteryzowało się silnymi wahaniami jego wartości*”. Kolejny podrozdział 4.5. zatytułowany w moim przekonaniu dość niezręcznie „*Zmienność charakterystyki osadów*” odnosi się *de facto* do wyników geochemii osadów z uwzględnieniem tzw. pierwiastków lądowych i morskich.

Dyskusja wyników jasno wskazuje na niewątpliwie gruntowną wiedzę Doktoranta z zakresu poruszanej w rozprawie doktorskiej problematyki. Autor swobodnie łączy uzyskane wyniki analiz diatomologicznych ze zrekonstruowanymi lokalnymi wartościami SST, SSS i SIC w kolejnych chronozonach klimatycznych holocenu i przedstawia je na tle zmian aktywności cyrkulacji oceanicznej w regionie Morza Labradorskiego z odniesieniem do wielkoskalowych cykli słonecznych. Analiza porównawcza uzyskanych wyników obu rdzeni wskazuje ponadto na występowanie przeciwnych trendów zmienności warunków oceanograficznych między strefą zewnętrzną, szelfową a wewnętrzną częścią systemu fiordów Godthåb, zwanej *anty-fazą* temperaturową. Wywód Autora w znacznym stopniu ułatwiają ciekawe i dobrze skonstruowane ryciny w odniesieniu do zmian SST, SSS, SIC w kolejnych interwałach czasowych (ryc. 5.2, 5.5, 5.8, 5.9) oraz cykle zmian warunków oceanicznych w obu częściach systemu fiordów z widoczną *anty-fazą* temperaturową (ryc. 5.10). Ta część monografii stanowi o wartości poznawczej rozprawy doktorskiej, zwłaszcza, że zawiera własne refleksje, miejscami krytyczne opinie Autora. Co więcej Doktorant kreśli zadania badawcze na przyszłość w celu domknięcia rekonstrukcji całego systemu np. widzi konieczność włączenia badań dotyczących zmian ekologicznych przy dnie z wykorzystaniem fauny otwornicowej (str. 117).

Moje krytyczne uwagi do Dyskusji dotyczą braku wskazania podstaw wyznaczenia granic czasowych kolejnych chronozon klimatycznych. W najnowszej tabeli stratygraficznej epoka holocena podzielona jest na trzy wieki. Wczesny holocen czyli greenland obejmujący chronozonę preborealną i borealną kończy się 8,2 ka, nie zaś 8,0 ka jak sugeruje tytuł podrozdziału 5.1.2. Na jakiej podstawie Autor uważa, że 10 ka BP kończy się preboreał i zaczyna boreał? Proszę o komentarz.

Nieco słabszym fragmentem Dyskusji jest podrozdział 5.3., w którym Doktorant odnosi się do produktywności okrzemek. Tym razem Autor niezbyt jasno śledzi podobieństwa i różnice między dwoma obszarami badań w poszczególnych interwałach czasowych. Nie wiadomo z jakich powodów nie odnosi się do LDAZ1 rozpoczynając analizę od LDAZ2. Poza tym w tej analizie nie jest brane pod uwagę zmienne tempo akumulacji osadów, które przecież ma

bezpośredni wpływ na koncentrację okrzemek wyrażoną liczbą okryw w 1 gr suchego osadu. A przecież ten wskaźnik został policzony (Ryc. 4.1). Moim zdaniem, w celu uwiarygodnienia wyników warto policzyć tzw. diatom flux czyli oszacować liczbę okryw na jednostkę powierzchni na 1 rok (patrz np. Kohly 1998), który to wskaźnik jest kombinacją koncentracji okrzemek i tempa akumulacji osadów. Tak policzony parametr w znacznie większym stopniu wskazywały na czasowo-przestrzenne zmiany produktywności flory okrzemkowej.

Dyskusję kończy podrozdział 5.5. Podsumowanie, w którym Autor przedstawia wielowątkową historię ewolucji obszaru badań w kolejnych chronozonach klimatycznych holocenu, co stanowi zwięzły komentarz na postawione cele rozprawy doktorskiej. Przedstawia również interesujące refleksje dotyczące aplikacyjności funkcji transferowej oraz skutków braku precyzji określania wieku osadów. Całą dysertację wieńczy osiem rozbudowanych prawidłowo skonstruowanych wniosków odnoszących się do zasadniczych osiągnięć Doktoranta.

Dysertacja nie jest łatwą lekturą, napisana jest dość trudną polszczyzną, co zapewne wynika z chęci przedstawienia skomplikowanego obrazu historii zmian środowiskowych przez Doktoranta. Są w niej rozmaite błędy np.

- terminologiczne: zlodowacenia zamiast lądolód (str. 9, 107), warwy osadów jako zapis litostratygraficzny (str. 22), mała epoka lodowcowa (str. 25);
- językowe: paleorekonstrukcja (str. 22), dla okresu całego holocenu (29), podczas poziomego okrzemkowego (str. 79), w trakcie poziomego okrzemkowego (str. 84), wycieki wód roztopowych (str. 114), w trakcie holocenu (str. 124), rekonstrukcja przeszłych zmian klimatu (str. 132);
- ortograficzne dotyczące nazw geograficznych: zatoka Disko (str. 26), morze Labradorskie (str. 27, 104, 108), morze Baffina (str. 40, 108), Ameryka północna (str. 104, 129), prąd Irmingera, prąd Labradorski etc. (ryc. 2.3), półwysep Iberyjski (str. 93); oraz inne: temperatura ziemi (str. 9), klimat ziemi (str. 10), Holocen (str. 16), wczesno holoceni (str. 88) oraz wody Arktyczne i wody Atlantyckie w całej pracy.

Pomimo krytycznych uwag uważam, że przedłożona rozprawa doktorska Pana mgr. Adriana Kryka ma bardzo duży potencjał naukowy i wnosi ważny wkład w rozwój wiedzy z zakresu paleoceanografii Arktyki. Tematyka pracy jest nowatorska, oryginalna i co warto podkreślić ma charakter interdyscyplinarny. Doktorant w pełni zrealizował postawione cele

w oparciu o nowoczesny warsztat analityczny, a rezultaty jego badań po odpowiednim przygotowaniu do publikacji z pewnością będą cytowane przez badaczy zajmujących się analogiczną problematyką. Doktorant jest w pełni przygotowany od strony merytorycznej i metodycznej do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Niniejszym stwierdzam, że rozprawa doktorska przygotowana przez Pana mgr. Adriana Kryka pt. *„Rekonstrukcja warunków oceanograficznych u wybrzeży południowo-zachodniej Grenlandii w późnym plejstocenie i holocenie w świetle analizy okrzemkowej osadów oceanicznych”* całkowicie spełnia warunki i wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Tym samym przedkładam Wysokiej Radzie Naukowej Instytutu Nauk o Morzu i Środowisku US wniosek o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

