

Sopot, 29 lipca 2019 r.

Prof. dr hab. Marek Zajączkowski

Instytut Oceanologii PAN

Ul. Powstańców Warszawy 55

81-712 Sopot

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej mgr Igora Niezgodzkiego**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Igora Niezgodzkiego pt. „Impact of CO<sub>2</sub> and Gateways on the Late Cretaceous Paleoenvironment in the (sub)Arctic Region: Sensitivity Studies with an Earth System Model”, wykonanej pod kierunkiem dr hab. Jarosława Tyszkę oraz dr Gregora Knorr, została przygotowana na prośbę Dyrektora Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk prof. dr hab. Ewy Słaby.

#### **Ocena struktury i treści rozprawy**

Recenzowana praca składa się z trzech artykułów opublikowanych w wysoko indeksowanych czasopismach naukowych oraz abstraktu i streszczenia w języku polskim i angielskim. W dwóch pierwszych artykułach Doktorant jest pierwszym autorem, w trzecim zaś drugim. Do wszystkich publikacji załączono oświadczenia współautorów dotyczące ich udziału w wykonanej pracy. Na ich podstawie stwierdzam, że udział Doktoranta w wykonanych pracach był wiodący lub zasadniczy. Tytuł rozprawy dobrze oddaje zawartą dalej treść, chociaż mam zastrzeżenie do polskiego tłumaczenia. Angielski termin *gateways* w dosłownym tłumaczeniu *przejście* nie jest moim zdaniem najlepszym wyborem. W oceanografii używamy terminów cieśnina lub przesmyk. Przejścia np. Północno-Zachodnie to droga dla jednostek pływających.

**Streszczenie** w recenzowanej rozprawie doktorskiej w sposób skrótowy ale wydaje się wystarczający wyjaśnia problematykę naukową, którą zajmował się Doktorant w trakcie swoich studiów. Załączone artykuły opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych zostały już recenzowane przez wysokiej klasy recenzentów, stąd nie widzę potrzeby ich powtórnego recenzowania, a fakt ich opublikowania traktować należy jako niewątpliwy sukces Doktoranta.

We **wstępie** Doktorant przedstawia powody dla których symulowanie warunków klimatycznych w przeszłości stanowi ważny element dla prognozowania różnych scenariuszy rozwoju warunków na Ziemi w przyszłości, również tych, wywołanych przez czynniki antropogeniczne. Stąd z dużym zainteresowaniem przeczytałem uzyskane wyniki bo dotyczą bardzo ciepłego okresu, w którym, w świetle dzisiejszej wiedzy efekt cieplarniany był w maksymalnym rozwoju. Przedstawiony w tej części pracy opis stanu wiedzy na temat warunków jakie panowały w końcu kredy dotyczy głównie klimatu, a w szczególności możliwych koncentracji CO<sub>2</sub> w ówczesnej atmosferze oraz oszacowań dotyczących średniej temperatury powierzchni Oceanu Arktycznego w tym okresie. Zabrakło natomiast opisu stanu najnowszej wiedzy na temat pozycji płyt kontynentalnych ograniczających ten ocean. Wiedza na temat szerokości i głębokości cieśnin umożliwiających cyrkulację wód oceanicznych w przeszłości znacznie poszerza się, ale też ciągle nie jest wystarczająca. Temat ten jest kluczowy dla zrozumienia systemu ocean-atmosfera, czego najlepszym przykładem jest waga jaką przykładamy do współczesnej cyrkulacji termohalinowej i cyrkulacji całkowitej wód w oceanie światowym. Osobiście jestem zwolennikiem tezy, że wejście Ziemi w fazę glacjałów plejstocenu było możliwe z powodu zmiany cyrkulacji wód oceanicznych z wokół-równikowej na wokół-biegunową. Dlatego też, chętnie wysłucham opinii Doktoranta na temat stanu współczesnej wiedzy na temat pozycji kontynentów oraz szerokości i głębokości cieśnin pomiędzy nimi w późnej kredzie.

W następnej części Doktorant prezentuje **cele pracy** oraz trzy główne **hipotezy badawcze**. Pierwsza z nich zakłada, że niezgodności pomiędzy symulowanymi temperaturami obliczonymi za pomocą modelu COSMOS a danymi geologicznymi wynikają z interpretacji tych drugich. Druga hipoteza zakłada możliwość formowania lodu morskiego na otwartym Oceanie Arktycznym w późnej kredzie. Ponadto Doktorant uczestniczył jako współautor w weryfikacji hipotezy sugerującej otwarcie Cieśniny Hudsona łączącej późno-kredowe Morze Grenlandzko-Norweskie z Morzem Środkowego Zachodu.



**Wyniki** oraz dalsze **wnioski** pozwoliły Doktorantowi na weryfikację hipotez, w zakresie działania modelu COSMOS i w zakresie przyjętych założeń. Symulacje przeprowadzone przez Autora wskazują na lepsze dopasowanie wysokich stężeń CO<sub>2</sub> do temperatur wysokich szerokości geograficznych. W niższych zaś dopasowanie zachodzi przy stężeniach CO<sub>2</sub> porównywalnych z końcem małej epoki lodowej. Doktorant oraz współautorzy publikacji w piśmie *Paleoceanography* (2017) wnioskuje dalej, że obliczone niezgodności mogą być wynikiem różnic pomiędzy średnimi rocznymi temperaturami a temperaturami lata. Przyznam, że jest to istotny problem w interpretacjach danych ze znacznie młodszych okresów, nawet holocenu. W okresie nocy polarnej procesy biologiczne spowalniają lub zamierają. Gros wskaźników używanych w paleoceanografii powstaje w trakcie cieplejszego dnia polarnego i prezentuje warunki z tego okresu. Natomiast różnice w temperaturze wód, również powierzchniowych w dużym stopniu uzależnione są od wymiany tych wód, a więc również głębokości cieśnin łączących basen Oceanu Arktycznego z ciepłym w tym okresie abysalem pozostałych oceanów.

Tu mam pytanie do doktoranta, czy istnieją wskaźniki (proxy) pozwalające stwierdzić istnienie pór roku, czy też długość ich trwania w tak odległym czasie. Geometria obrotu Ziemi wokół własnej osi oraz wokół Słońca to przecież wypadkowa wielu kolizji z innymi ciałami oraz stałego oddziaływania grawitacyjnego Słońca i planet Układu Słonecznego. Tu sprecyzuję pytanie, czy kolizja Ziemi na koniec kredy, dzisiaj chyba już powszechnie akceptowana w nauce, mogła mieć istotny wpływ na wahania osi ziemskiej powodujące pory roku?

Weryfikacja drugiej hipotezy pozwoliła Doktorantowi na ciekawy wniosek. Doktorant i współautorzy sugerują, że przy stężeniach CO<sub>2</sub> pomiędzy 3 a 4 krotnie wyższych niż 280 ppm mógł się tworzyć sezonowy lód morski w basenie Oceanu Arktycznego. Nie udało mi się jednak ustalić jaką warstwę mieszania wód przyjęto w modelu COSMOS dla formowania lodu morskiego. Czy były to założone głębokości GNS 47 i 600 m? Ta informacja jest dla mnie, jako oceanografa kluczowa dla zrozumienia wyniku. Woda słodka zamarza stosunkowo łatwo, bo jej gęstość rośnie jedynie do temperatury 4 °C. Stąd powierzchnia wody słodkiej może zamarznąć bez konieczności schłodzenia warstw niższych. Ładunek soli w wodzie morskiej powoduje, że jej gęstość wzrasta aż do temperatury zamarzania np. obecnie w Atlantyku -1.8 °C przy zasoleniu ponad 35. Ta właściwość wody morskiej sprawia, że aby pojawił się na niej lód musi wymieszać się i schłodzić cała kolumna wody do dna, lub warstwa do pyknokliny. Przykładowo, od 2005 roku fiordy zachodniego Spitsbergenu przestały zamarzać, bo temperatura wyjściowa wody jest zbyt wysoka (ok 6 °C) a zima zbyt krótka aby schłodzić całą kubaturę wód fiordowych. Dlatego poproszę Doktoranta o

wyjaśnienie jakie założenia przyjęto w modelu COSMOS, to znaczy jaka warstwa wody podlegała konwekcyjnemu mieszaniu w trakcie schładzania do założonych temperatur zamarzania.

W ostatnim artykule składającym się na rozprawę doktorską mgr Igora Niezgodzkiego postawiono nową hipotezę, że w końcu kredy Cieśnina Hudsona stanowiła regularne połączenie Morza Środkowego Zachodu z zaczątkiem współczesnych Mórz Nordyckich tj. Morzem Grenlandzko – Norweskim. Praca ta opiera się na analizie dinocyst w rdzeniu pobranym z grzbietu Utrøst na Morzu Norweskim i porównaniu wyników z analizami dinocyst w rdzeniu pochodzącym z rejonu Morza Środkowego Zachodu. Znalezienie cyst bruzdnic tych samych gatunków w obu lokalizacjach wskazuje na wymianę wód pomiędzy tymi basenami. Symulacje wykonane na modelu COSMOS pozwalają na przypuszczenie, że już w kampanie mogły następować okresowe napływy ciepłych wód do Morza Grenlandzko Norweskiego z południowego zachodu. Tu ponownie mam pytanie, czy wśród dinocyst z okresu później kredy można wyróżnić gatunki zimnolubne, czy też związane z ówczesnym Oceanem Arktycznym lub polarną strefą antarktyczną?

#### **Stanowisko końcowe**

Cel rozprawy, po części zawarty również w jej tytule został osiągnięty. Bardzo wysoko oceniam zakres metodyczny oraz poziom naukowy pracy. Doktorant wykazał się zastosowaniem szerokiego i nowoczesnego warsztatu badawczego, a dzięki współpracy z dr Gregorem Knorr z AWI uzupełnił go o możliwość wykonania symulacji za pomocą modelu systemu Ziemi COSMOS w Instytucie Meteorologii Maxa Plancka w Hamburgu. Autor recenzowanej przeze mnie rozprawy wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań naukowych, a w szczególności umiejętnością planowania badań, integracji interdyscyplinarnych metod badawczych w zespole międzynarodowym oraz interpretacją wyników.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr Igora Niezgodzkiego jest oryginalnym opracowaniem i wnosi ważny wkład do wiedzy na temat ważnego, bo przebiegającego w cieplarnianych warunkach okresu ewolucji Ziemi. Rozprawa całkowicie spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). W tej sytuacji stawiam wniosek o dopuszczenie mgr Igora Niezgodzkiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

