

Dr hab. Barbara Kremer, prof. nadzw. PAN
Instytut Paleobiologii PAN
ul. Twarda 51/55
00-818 Warszawa

Warszawa, 27 grudnia 2017 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej magister Katarzyny Marii Misiury pt. *Numeryczne symulacje ewolucji rzek jedno- i wielokorytowych na Ziemi i Tytanie*

Recenzowana rozprawa została napisana pod kierunkiem dr hab. Leszka Czechowskiego w Zakładzie Fizyki Litosfery, Instytutu Geofizyki, Wydziału Fizyki UW. Przedmiotem rozprawy są numeryczne symulacje ewolucji rzek na Ziemi i Tytanie. Tematyką rozprawy jest testowanie formowania i rozwoju rzek na Ziemi i Tytanie w oparciu o modelowanie komputerowe przeprowadzone dla różnych wariantów obliczeniowych, m.in. różnych wartości natężenia przepływu, czy średnicy ziaren. Modelowanie przeprowadzono za pomocą pakietu CCHE2D. Część wyników modelowania została opublikowana we współautorstwie z promotorem w 2015 roku w piśmie *Geological Quarterly* (tytuł pracy *Numerical modelling of sedimentary structures in rivers on Earth and Titan*) oraz w 2016 roku także w piśmie *Geological Quarterly* we współautorstwie (tytuł pracy *The formation of single-channel and multiple-channel rivers on large slopes*).

Rozprawa napisana jest w języku polskim, liczy 119 stron i podzielona jest na osiem rozdziałów: 1. Wstęp, 2. Parametry użyte w symulacjach, 3. Równania modelu numerycznego, 4. Wyniki, 5. Dyskusja wyników, 6. Szczegółowe wnioski, 7. Plan przyszłych prac i 8. Podsumowanie. Dodatkowo za Podsumowaniem zamieszczono listę rycin i listę tabel. Bibliografia licząca 78 pozycji znajduje się na końcu rozprawy i zawiera w większości prace anglojęzyczne. Praca zawiera trzy rozkładane, kolorowe załączniki.

Rozdział pierwszy zawiera podstawowe informacje o Tytanie, w tym stan dotychczasowych badań, geologię i geomorfologię z uwzględnieniem rzek oraz krótką charakterystykę przeszłych i planowanych misji na ten księżyc. W drugiej części rozdziału zawarto krótką charakterystykę rzek obejmującą m.in. klasyfikację rzek naturalnych oraz metody badań rzek i osadów rzecznych. Rozdział ten jest bogato ilustrowany zdjęciami i diagramami zarówno czarno-białymi, jak i kolorowymi.

W rozdziale drugim omówiono parametry cieczy i transportowanego materiału wykorzystywanych w eksperymentach, a także opisano model geometryczny symulowanej rzeki i inne elementy modelu. Parametry brane pod uwagę w symulacjach to: typ transportowanego ziarna, rozkład uziarnienia, rodzaj transportu, porowatość osadu, współczynnik Manninga, nachylenie podłużne rzeki, natężenie przepływu, średnica ziarna, współczynnik roztopowania oraz krętość koryta. Rozdział ten zawiera zebrane w trzech tabelach szczegółowe parametry symulacji przeprowadzonych w dłuższych okresach czasu dla Ziemi (dla materiału kwarcowego i bazaltowego) i Tytana. Przeprowadzone symulacje odbywały się na dwóch geometrycznych modelach rzek: fragmencie rzeki East Fork River w stanie Wyoming w USA oraz na stworzonym przez doktorantkę sztucznym modelu rzeki o długości 1 km i szerokości 200 m. Wykonano ok. 400 symulacji krótkich i długich, z czego w pracy wykorzystano ok. 300 z nich.

Parametry modelu numerycznego, równania przepływu i transportu osadu prezentowane są w rozdziale trzecim. Tutaj opisane zostały również problemy powstające przy tego rodzaju modelowaniu.

Rozdział czwarty zawiera opis rezultatów symulacji komputerowych. W dwóch podrozdziałach przedstawiono wyniki symulacji krótkich oraz długich dla Ziemi i Tytana wraz z ich modelami graficznymi. Symulacje krótkie trwały od 22 do 66 dni.

Przeprowadzone symulacje krótkie dały szereg ciekawych wyników. Podstawowym z nich jest uzyskanie w symulacjach, dla zbliżonych bądź tych samych parametrów modelu, w warunkach Ziemi i Tytana różnych typów rzek. Na przykład, dla modelu rzeki East Fork w warunkach ziemskich uzyskano rzekę przypominającą roztokową, a dla Tytana rzekę o parametrach rzeki meandrującej. Kolejnym ciekawym rezultatem jest otrzymanie różnego tempa sedymentacji dla obu badanych obiektów, co przejawiało się różnicami w ukształtowaniu dna symulowanych rzek. Na Tytanie średnie zmiany w ukształtowaniu dna były bardziej wyraziste. Również na Tytanie naniesione osady miały większą miąższość, w granicach 10-40 cm, na Ziemi zaledwie ok. 5 cm.

Symulacje długie, trwające do ok. 240 dni, przeprowadzono dla litologicznie różnego materiału: kwarcu i lodu wodnego oraz dla bazaltu. Wartości parametrów dla tych symulacji zostały określone w oparciu o symulacje krótkie. Symulacje przeprowadzono dla większych wartości nachylenia podłużnego rzeki niż tych przyjmowanych dotychczas w przypadku Ziemi. Symulacje wykazały szereg różnic pomiędzy Ziemią a Tytanem. Między innymi w przypadku Tytana wraz ze wzrostem nachylenia podłużnego rzeki pojawia się więcej rzek jednokorytowych kosztem rzek przejściowych, rzeki wielokorytowe występują natomiast równie licznie. Dla Ziemi liczba rzek wielokorytowych wyraźnie rośnie wraz ze wzrostem nachylenia podłużnego rzeki. Różnice zaobserwowano również ze względu na zmniejszoną siłę ciężkości na Tytanie, gdzie natężenie przepływu w rzekach nie ma zasadniczego wpływu na kształtowanie poszczególnych typów rzek.

Rozdział piąty zawiera dyskusję i interpretację uzyskanych wyników.

W rozdziale szóstym zamieszczono wnioski szczegółowe podzielone na część dotyczącą symulacji krótkich oraz długich. Bardzo krótki (niecała strona) rozdział siódmy zarysowuje plan przyszłych prac, a rozdział ósmy to podsumowanie całości rozprawy.

Oceniając pracę stwierdzam, że Doktorantka podjęła się niełatwego zadania polegającego na określeniu czy raczej wyinterpretowaniu właściwości potencjalnych rzek na Tytanie i scharakteryzowaniu ich przebiegu porównując je z rzekami ziemskimi.

Zawarty w rozdziale pierwszym opis Tytana jest wnikliwy i bardzo pomocny, jednak Autorka nie dystansuje się do przytaczanych danych literaturowych, przyjmując tę wiedzę za pewnik. W większości są to jedynie przypuszczenia lub próby interpretacji danych uzyskanych przez sondę Cassini. Przykładowo rozdział dotyczący misji na Tytanie został napisany tak, jakby Autorka uczestniczyła osobiście w ich planowaniu, a przecież przytoczone informacje pochodzą z jakiś źródeł nie cytowanych w rozprawie.

Styl pisania jest miejscami zbyt popularny, zwłaszcza we wstępie. Zadziwiająca jest też ubogość cytowanej literatury o rzekach, szczególnie, że są one głównym tematem rozprawy. Doktorantka podaje definicję rzeki (str. 17) według encyklopedii PWN. Źródło encyklopedyczne, na które się powołujemy (rok wydania i autor hasła) powinno znaleźć się w cytowaniach lub przynajmniej w odnośniku w dołu strony. Ponadto definicje rzeki można też znaleźć w bardziej profesjonalnych pozycjach literaturowych, przykładowo w renomowanym amerykańskim słowniku geologicznym *Glossary of Geology* (eds. Neuendorf et al. 2005). Do wyjaśnienia czy przedyskutowania pozostaje słuszność używania terminu rzeka do struktur obserwowanych na Tytanie. Nie jestem pewna, czy jest to poprawne, choć w literaturze

naukowej określenie rzeka w stosunku do Tytana często się pojawia. Jak sama Autorka przyznaje zdjęcia z powierzchni Tytana nie dają podstaw do rozróżnienia w wijących się formach koryta cieków, a jedynie generalny zarys doliny. W takim przypadku nie można mieć pewności, czy doliny są wypełnione cieczą, więc mówienie o rzekach (zgodnie z ich definicją) może wydawać się nadużyciem. Bardziej właściwsze byłoby zastosowanie w odniesieniu do Tytana terminu kanał bądź dolina (ang. *channel*). Dobrze wyjaśnia to Encyclopedia of Planetary Landforms (eds. Hargitai and Kereszturi 2015), która w jasny sposób definiuje pojęcie kanału z odniesieniem do Tytana i Marsa.

Inne uwagi szczegółowe do rozprawy

Na str. 15 przytoczony został termin delty typu *lobate*. Nie ma takiej nazwy w polskiej terminologii. Czy chodzi o deltę palczastą?

Na stronie 19 zamieszczono niezupełnie prawidłową definicję prądu turbidytowego. (definicja patrz m.in. Zieliński 2014, str. 471).

Na figurze 15 podano wzór bez objaśnień i źródła cytowania. Na stronie 21 użyto terminu współczynnik krętości koryta bez podania źródła definicji tego terminu. Na stronie 22 Autorka użyła niezbyt fortunnego zwrotu pisząc o płytkich i nieciąglych warstwach osadzających się w rzece. Warstwa osadu nie może być płytka. Może być tylko gruba lub cienka lub też niewielkich miąższości.

Migoń (2009) opisuje systemy wielonurtowe, które nie są ujęte w tej pracy. Nie jest jasne jak Autorka rozumie wielokorytowość i wielonurtowość w odniesieniu do modelowanych rzek?

Przy opisie typów rzek nie zastosowano fachowej terminologii, np. przerzucanie boczne koryta rzeki to *awulsja*; z kolei odsypy przykorytowe (figura 22) nie są chyba poprawnym terminem – chodzi raczej o odsypy meandrowe. W rozprawie pojawia się termin spadek podłużny koryta (str. 20). Czy jest to to samo, co spadek podłużny rzeki (str. 23)? Terminy wymagają objaśnienia.

Generalna uwaga do większości figur jest taka, że są one za słabo objaśniane. Dotyczy to przede wszystkim schematów rzek. Na modelach rzek powinien być zaznaczony kierunek przepływu. Przykładowo figura 34 powinna zostać szczegółowo objaśniona, ponieważ prezentuje wynik symulacji rzeki na Tytanie z użyciem różnego rozmiaru ziaren. Symulacje wykazały różny rozkład uziarnienia w korycie rzeki, co jest bardzo interesującym rezultatem i wymagałoby szerszego komentarza.

Rysunek na figurze 24 jest słabo czytelny, nie zamieszczono przy nim legendy. Figura 23 jest bardzo słabo opisana, nie podano objaśnienia terminów. Wersję uproszczoną i bardziej czytelną tego wykresu można znaleźć w cytowanej przez Autorkę książce Zielińskiego (2014) w języku polskim.

Figura 11 została zaczerpnięta ze strony internetowej z podanym adresem tej strony. Cytowanie jest nieprofesjonalne i moim zdaniem niedopuszczalne w pracach naukowych. Strona internetowa jest blogiem nieznanego autorstwa. Takie cytowanie uchodzi w przypadku prezentacji popularno-naukowych, jednak jest zdecydowanie nieodpowiednie w przypadku rozprawy doktorskiej. Schemat doliny rzecznej można znaleźć z pewnością w literaturze bardziej fachowej lub podręczniku.

Figura 16 nie ma podanego źródła cytowania, co sugeruje, że jest to rysunek oryginalny Autorki. Jeśli tak, to dlaczego jest on w języku angielskim? Ponadto pomimo informacji w podpisie w tekście nie ma objaśnienia do tej figury.

Brak jednoznacznej informacji w jakich jednostkach wyrażone są kolorowe skale, np. na figurze 32. Czy na wszystkich figurach kolory oznaczają to samo (odsypy, rozkład uziarnienia)? Niektóre figury, np. 30 i 34 mają zbyt małą czcionkę i są nieczytelne.

W pracy zamieszczono trzy rozkładane i kolorowe załączniki przedstawiające wybrane wyniki symulacji. Są one czytelne i bardzo przydatne przy czytaniu pracy, niestety brakuje do nich jakiegokolwiek podpisu czy omówienia. Aby je zrozumieć i poprawnie zanalizować trzeba szukać objaśnień w tekście rozprawy. A w samej rozprawie wzmianka o załącznikach pojawia się jedynie na str. 75 i w podsumowaniu, bez szerszych objaśnień.

W pracy występują też powtórzenia. Przykładowo na stronie 16 i 38 pojawia się prawie identyczne zdanie o największych okruchach na Tytanie. Rozdział 8 pt. Podsumowanie jest całkowitym powtórzeniem streszczenia oraz wniosków i mógłby zostać pominięty.

W cytowanej literaturze brakuje kilku cytatów użytych w tekście rozprawy, np. Witek i Czechowski 2013, 2014, McWhorter i Sunada 1977, Migoń 2009, LeGall et al. 2010. Błędnie zacytowano Gradziński 1986, powinno być Gradziński et al. 1986. Zdarzają się też literówki, np. na str. 39 powinno być „ustalenie średnicy ziarna”; str. 41 powinno być „prezentuje praca doktorska Witka (2016)”; str. 53 powinno być „wymaga pokrycia siatką”. W opisie rysunku 27 zgubiono „d” w słowie trendu.

Ciekawą nowatorską propozycją jest zastosowanie przez Doktorantkę dwóch kryteriów klasyfikacji rzek w stosunku do rzek modelowych: klasyfikacji na podstawie czasowych i przestrzennych zmian w rzece oraz w ujęciu bardziej klasycznym, tj. na podstawie parametru roztokowania b . W obu ujęciach klasyfikacja rzek otrzymanych w symulacjach prezentuje się nieco inaczej. Gdy rozważymy parametr roztokowania otrzymamy więcej rzek jednokorytowych niż wielokorytowych. W przypadku klasyfikacji opartej o czasowe i przestrzenne zmiany w rzece rzeki wielokorytowe dominują. W obu klasyfikacjach rzeki tzw. przejściowe mają podobny udział, czyli ok. 1/3.

Pomimo wielu drobnych niedociągnięć rozprawę oceniam jako niezwykle wartościową i nowatorską. Warunki na Tytanie są słabo rozpoznane ze względu na małą ilość źródeł informacji i muszą być prowadzone w oparciu o modele teoretyczne. Modelowanie przeprowadzone przez Autorkę daje właśnie dobry wgląd w możliwości tworzenia się rzek w warunkach odmiennych niż ziemskie. Autorka umiejętnie i skutecznie zastosowała modelowanie do analizy warunków depozycji w potencjalnych rzekach na Tytanie. Autorka uzasadniła, że zachowanie się rzek na Tytanie w niektórych warunkach jest podobne, w innych zaś odmienne niż na Ziemi. Cykl hydrologiczny na Ziemi jest podstawowym cyklem kształtującym powierzchnię naszej planety; na nim opierają się prawie wszystkie podstawowe procesy egzogeniczne. Na Tytanie stwierdzono występowanie analogicznego cyklu, opartego jednak nie na wodzie, a na metanie i etanie, i badania porównawcze tych cykli są niezwykle wartościowe, choćby w kontekście możliwości powstania życia na tym księżycu Saturna. Jest to też istotne dla postępu badań nad środowiskiem Tytana. Rezultaty przedstawione w rozprawie mają szansę na opublikowanie w dobrych międzynarodowych pismach i na szeroki oddźwięk w literaturze światowej.

W świetle przedstawionych argumentów stwierdzam, że przedstawiona rozprawa spełnia bez zastrzeżeń wymagania stawiane pracom doktorskim (zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r., Dz. Ustaw Nr 65, poz. 595) i wnioskuję o dopuszczenie magister Katarzyny Misiury do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

