

Dr hab. Leszek Czechowski

### **Recenzja pracy doktorskiej magistra Timura Borykova:**

**“Numerical modeling of granular material collapse in the context of analysis of Martian landslide dynamics”.**

#### **Ocena formalnej strony rozprawy:**

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów podzielonych na 25 podrozdziałów i listy prac cytowanych. Zawiera ok. 30 rysunków i 1 tabelę. Całkowita objętość pracy to 101 stron, a z dołączonym później „Summary” – 103 strony.

Analizując spis treści widzimy, że podział tematów pomiędzy rozdziałami jest prawidłowy i jasny, prowadząc czytelnika od zdefiniowania problemu i opisanie metod do wyników i wniosków. Sama zawartość merytoryczna rozdziałów dyskutowana jest poniżej.

Niestety w kilku miejscach widoczny jest brak należytej staranności. Tak więc brak Fig. 4.1, pierwszy rysunek w rozdziale 4 jest numerowany jako Fig. 4.2 (na str. 35). Dwa rysunki są oznaczone jako Fig. 6.1 (str. 67 i 74). Pomijam szereg literówek, które w każdym tekście się spotyka, a które nie utrudniają zrozumienia tekstu.

#### **Ocena merytoryczna**

Praca poświęcona jest dynamice osunięć w warunkach Marsa. Jest to ważny temat w problematyce marsjańskiej z wielu powodów, m. in. dlatego, że są to procesy wciąż występujące na Marsie, pozwalające na wnioskowanie o warunkach pod powierzchnią Marsa i o właściwościach struktur powierzchniowych. Wiele wyników takich badań ma zastosowanie do innych planet.

Rozdział 1 to wprowadzenie, przy czym część materiału z podrozdziałów 1.1 i 1.3 pokrywa się z „Summary”. W podrozdziale 1.2 autor dokonuje krótkiego przeglądu prac. Przegląd jest zrobiony poprawnie. Sam bym dodał informacje także o kilku innych pracach (np. De Blasio, *Planetary and Space Science* 59, 2011, 1384–1392), ale jest to raczej wynikiem trochę innego punktu widzenia i nie mogę tego traktować jako wady.

W podrozdziałach 2.1 i 2.2 autor opisuje wybrane osuwiska i ich ogólny kontekst geologiczny. Wybór jest z natury dosyć dowolny i nie wątpię, że kolejnych badaniach autor rozszerzy badania na inne przypadki. Podrozdział 2.3 opisuje właściwości osuwisk związane z współczynnikami tarcia i prawidłowo porównuje osuwisko z 1962 roku na lodowcu Sherman na Alasce z osuwiskami marsjańskimi w Valles Marineris.

Rozdział 3 jest już bezpośrednio związany z badaniami własnymi autora i przedstawia założenia metody numerycznej używanej w badaniach. Autor wybrał metodę „soft particle DEM method”. Jest to typowa metoda elementów dyskretnych, często używana dla badania ruchu substancji sypkich. Jest to, moim zdaniem, wybór prawidłowy do badanego zjawiska. W metodzie tej rozpatruje się szereg ciał (ziaren) oddziałujących ze sobą siłami tarcia, sprężystości itp. Na ogół ziarna mają prosty geometryczny kształt (np. sferyczny) i mogą ulegać niewielkim deformacjom. Oczywiście nie oznacza to, że autor zakłada, że osuwisko składa się z kulistych ciał, ale że wypadkowy ruch w rzeczywistym osuwisku będzie z dobrym przybliżeniem opisywany przez model, w którym osuwisko składa się z ciał sferycznych. Model jest stosunkowo prosty lecz dzięki swojej prostocie jest też wiarygodny i odporny na różne efekty numeryczne. Autor rozważa kilka prostych sytuacji: rozpad osiowosymetrycznego ciała (kolumny) zbudowanego z takich ziaren lub osunięcie ściany długiego kanału – patrz podrozdział 3.2. Oba przypadki są w gruncie rzeczy dwuwymiarowe co znakomicie zmniejsza wymagania dotyczące komputera i przyspiesza uzyskanie wyników. Kolejne podrozdziały opisują dokładniej modele, ich parametry i możliwości.

Rozdział 4 poświęcony jest wynikom symulacji osiowosymetrycznej ewolucji „sypkiej” kolumny. Autor wykorzystuje ten model do dokładnej analizy wiarygodności obliczeń. Czy wyniki nadają się do ilościowych porównań z eksperymentami laboratoryjnymi? Temu problemowi poświęcone są podrozdziały 4.1 i 4.2. Ważną zaletą jest dążenie autora do używania liczb bezwymiarowych w porównaniach. Chociaż jest to podejście oczywiste dla fizyka, to jednak często jest zaniedbywane nawet w poważnych modelowaniach. Podrozdział 4.3 porusza inny istotny parametr techniczny modelu: ilość ziaren. Ponieważ model w zasadzie nie odzwierciedla realnych ilości i kształtu ciał tworzących osuwisko, więc jest sprawą dość umowną ile ziaren założymy. Pojawia się więc problem: jak wyniki modelu zależą od tego założenia? Przeprowadzone porównania dla obliczeń dla płaskiego przypadku, dla liczby ziaren od 200 do 8000, wskazują na dość małą rolę liczby ziaren, zwłaszcza dla liczby powyżej 1000. Wynik ten wskazuje między innymi, że same obliczenia nie są bardzo wymagające jeśli chodzi o komputer. Kolejny podrozdział dotyczy ewolucji energii: potencjalnej, kinetycznej i uległej dyssypacji. Następnie autor porównuje przypadek osiowosymetryczny i płaski. Prędkości, trajektorie i ostateczne położenia ziaren dyskutowane są w kolejnych podrozdziałach.

Rozdział 5 przedstawia trochę podobne porównania obliczeń dla płaskiego przypadku z pomiarami eksperymentalnymi znanymi z literatury. Porównania dotyczą także osuwiska rozwijającego się na pochyłej powierzchni. Wskazano tutaj na ograniczenia pewnych metod skalowania do małych kątów nachylenia (poniżej 16 stopni).

Rozdziały 6 i 7 omawiają wybrane osuwiska na Marsie, ich parametry i właściwości oraz dyskutują porównania z modelami. Najważniejszym wynikiem dyskusji w tych rozdziałach jest potwierdzenie, że wysoka mobilność wielu marsjańskich osuwisk wskazuje, że nie są to osuwiska suchych skał krzemianowych na suche podłoże. Tak wysoka mobilność jest możliwa jedynie przez założenie pewnej zawartości lodu lub płynnej wody w skałach osuwiska lub na podłożu.

### **Podsumowanie:**

Praca doktorska Timura Borykova zawiera szereg wartościowych wyników dotyczących metod obliczania dynamiki osuwisk metodą DEM. Wyniki te zostały zastosowane do osuwisk na Marsie, co pozwoliło na wskazanie prawdopodobnej zawartości lodu lub wody w skorupie



Marsa. Ponadto część wyników może mieć też szersze zastosowanie, m. in. pozwalają wnioskować o wartości użytych metod modelowania i granic ich możliwości. Część wyników została już przedstawiona w na konferencjach o zasięgu światowym. Niestety nie znalazłem publikacji opartej na tych wynikach, chociaż wyniki te bez wątplenia zasługują na publikację. Przypuszczam, że odpowiednie publikacje są w przygotowaniu.

Moje zastrzeżenia dotyczą głównie braków edytorskich. Nie mam wątpliwości, że praca spełnia polskie wymagania dotyczące rozpraw doktorskich i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszego postępowania.



Dr hab. Leszek Czechowski